



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Eléctrica

Profesor Patrocinante:
Dr. Enrique López P.

“Un Modelo Multi-Horario de Despacho Estocástico de Carga de Corto Plazo, Regulado por un Sistema de Permisos Transables de NO_x ”

por
Fabricio Iván Salgado Díaz

Tesis Presentada a la
ESCUELA DE GRADUADOS
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
para optar al grado de

M.Sc. de la Ingeniería c/m en Ingeniería Eléctrica

Agosto 2003

*D*ios me observa, escucha mi pensar,
es el único que ha visto mis triunfos en
el silencio, creo y confío sólo en él,
...siempre seré feliz

*N*uestra mente es inmensa, el
pensamiento también...., el silencio los
lleva de la mano
No busques en las letras. El
pensamiento y la mente están sobre
ellas...

*E*n la vida constantemente hemos
tenido que subir escaleras, cuando
nacemos, la decisión es clara debemos
subir y cada vez que estamos un peldaño
más arriba, nuestra visión de la vida es
más nítida. Nos preguntamos si debemos
seguir... y seguimos, sin embargo,
conforme avanzamos encontramos
puertas y más escaleras, las decisiones no
son tan claras, pero si estamos ahí, es por
que las podemos tomar...

*L*a poesía es especial, son letras, pero
dependen de tí para darle significado, de
tí quien escribe, de tí quien las lee,...la
pintura también, de tí quien la pinta, de
tí quien la observa...

*Mis mayores agradecimientos, reconocimiento y respetos a mi profesor guía y tutor durante gran parte de mi vida en nuestra Universidad, quien me ha enseñado e inculcado lo invaluable de su conocimiento y experiencia, los cuales ha demostrado con creces..., en este punto de mi vida, estoy orgulloso de describirlo como:
Maestro de Maestros
A Don Enrique López P.*

*Agradezco el honor que me concede al formar parte de mi comisión de Tesis de Grado, al igual que el trabajo y dedicación demostrados en la publicación resultante de esta Tesis, a un profesor al cual le manifiesto mi personal admiración y seguimiento de su trabajo
A Don Hugh Rudnick V.*

*Agradezco haber insertado en mí, las dudas e interrogantes en el Área de Control Automático, a través, de sencillos temas y frases entretenidas en el Ramo de Identificación de Sistemas, ...sólo hace falta una interrogante para que busquemos respuestas y pasemos de lo sencillo a lo complejo sin darnos cuenta..., también agradezco su apoyo, confianza y reconocimiento a mi trabajo, apoyándose en la postulación al Programa de Doctorado de nuestra Universidad
A Don Eligio Amthauer C.*

*Un honor, que forme parte de mi comisión, a quien fue una vez alumno de nuestra Universidad y cuyo prestigio ya conocía, agradezco su disposición y tiempo dedicados
A Don Vladimir Esparza H.*

A mi familia, mi mayor apoyo, alegría y felicidad ...

RESUMEN

Se propone en este trabajo un modelo de despacho térmico de carga multi-horario (horizonte de 24 horas) que gobierna las restricciones de NO_x , a través, de un SPET (Sistema de Permisos de Emisión Transables). Para lo previo hace el llamado a un parque generador ficticio uninodal [18]. Se incorpora la aleatoriedad de la generación y la demanda en la formulación del problema y la solución es abordada vía Monte Carlo y el método de Programación Lineal Convexa Separable (PLCS). El problema de optimización es planteado de 3 formas:

- (1) uso discontinuo del permiso de emisión, en el rango de generación horario, con una línea recta para la representación de la función de costo de combustible.
- (2) uso continuo del permiso de emisión en el rango de generación horario, con una línea recta para la representación de la función de costo de combustible, más una ponderación del costo incremental del mismo.
- (3) uso discontinuo del permiso de emisión en el rango de generación horario, con dos líneas rectas para la representación de la función de costo de combustible.

(1) y (2) presentan idénticos resultados, salvo el costo marginal que no es determinable en (2). La valorización del costo social que implica la externalidad ambiental sólo es reflejada en (1) y (3), a través del costo marginal del sistema. La comparación de los mismos, ratifica la importancia del modelo para la función de costo de combustible, cuando ésta no está bien representada por una línea recta, ya que en dicho caso se producen cambios en la lista de mérito para el despacho de carga, afectando la potencia despachada, el uso de los permisos de emisión y los costos asociados de las unidades generadoras.

La contribución de este trabajo se encuentra en la incorporación de las ideas más importantes y eficientes de la literatura, utilizadas para resolver el problema del despacho económico de carga bajo restricciones ambientales, en un modelo innovador de mercado de emisiones (SPET), el cual considera el aspecto estocástico de funcionamiento para las unidades generadoras y demanda horaria. El modelo se enmarca en un sistema centralizado para el despacho de carga como el Chileno. Su potencialidad se encuentra en las modificaciones mínimas al despacho de carga según una lista de prioridades. Las mejoras del modelo presentado se asumen en la profundización del funcionamiento del mercado y un análisis más detallado de la forma en que debe ser incluido probabilísticamente.

OBJETIVOS

Objetivo Principal

Desarrollar un modelo, de forma tal, de dar solución al problema multi-horario del Despacho Estocástico de Carga de corto Plazo regulado por un Sistema de Permisos de Emisión Transables (SPET) de NO_x, el cual considera los siguientes items:

- 📖 Nivel de permisos de emisión para cada unidad del parque de generación.
- 📖 Nivel de Transacciones de emisiones.
- 📖 Nivel de adquisición de permisos adicionales de acuerdo a la flexibilidad de un organismo de control indirecto del mercado.
- 📖 Incertidumbre en la generación y la demanda.

Objetivos Específicos

Los objetivos específicos a lograr, son los siguientes:

- 📖 Análisis del estado del arte.
- 📖 Diseñar soluciones para converger a un modelo satisfactorio de acuerdo al objetivo principal.
- 📖 Validación del modelo resultante, a través, de la construcción de sistemas de prueba.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| Resumen | 1 |
| Objetivos | 2 |
| Nomenclatura | 5 |
| Introducción | 7 |
| Capítulo I Estado del Arte | 11 |
| I.1 Revisión Bibliográfica..... | 11 |
| I.2 Conclusión y Síntesis..... | 19 |
| Capítulo II Planteamiento del Problema | 21 |
| II.1 La Externalidad Ambiental como Fallo de Mercado | 21 |
| II.2 Instrumentos de Regulación Ambiental en el Sector Eléctrico..... | 21 |
| II.3 Preocupación Ambiental Internacional..... | 22 |
| Capítulo III Solución Propuesta | 24 |
| III.1 Formulación del Modelo | 24 |
| III.2 Hipótesis del Modelo..... | 31 |
| III.3 Resolución Computacional Asociada al Modelo..... | 32 |
| Capítulo IV Aplicación | 34 |
| IV.1 Caso Sistema de 3 Unidades..... | 34 |
| IV.2 Caso Sistema de 5 Unidades..... | 38 |
| IV.3 Caso Sistema de 9 Unidades..... | 42 |
| IV.4 Caso Sistema de 18 Unidades..... | 49 |
| Capítulo V Análisis de Resultados | 60 |
| V.1 Igualdad de los Resultados | 60 |
| V.2 Aspectos Comunes..... | 61 |
| V.3 Caso Particular: Sistema de Tres Unidades..... | 66 |
| V.4 Caso Particular: Sistema de Cinco Unidades | 66 |
| V.5 Caso Particular: Sistema de Nueve Unidades..... | 67 |
| V.6 Caso Particular: Sistema de Dieciocho Unidades..... | 69 |

| | |
|---|----|
| <i>Conclusión</i> | 71 |
| <i>Bibliografía</i> | 72 |
| <i>Anexo A: Datos sistema de 3 Unidades</i> | 75 |
| <i>Anexo B: Datos sistema de 5 Unidades</i> | 77 |
| <i>Anexo C: Datos sistema de 9 Unidades</i> | 79 |
| <i>Anexo D: Datos sistema de 18 Unidades</i> | 81 |
| <i>Anexo E: Curva de Demanda Utilizada</i> | 83 |
| <i>Anexo F: Programación Lineal Convexa Separable</i> | 85 |

NOMENCLATURA

- b_r : Costo de racionamiento (\$/Mwh).
 b_{i1}^j : Costo ficticio j, unidad i, primer tramo de linealización (\$/Mwh).
 b_{i2}^j : Costo ficticio j, unidad i, segundo tramo de linealización (\$/Mwh).
 β_{i1} : Emisión incremental unidad i, primer tramo de linealización (ton/Mwh).
 β_{i2} : Emisión incremental unidad i, segundo tramo de linealización (ton/Mwh).
 c_i : Término constante de la ecuación de costo de combustible, unidad i (\$/h).
 d_h : Variable aleatoria, demanda horaria (Mw).
E : Abreviación, unidad ficticia *Eco*.
Eco : Abreviación, unidad ficticia ecológica.
E[] : Estimado del valor esperado de una variable.
 $e_i(t)$: Estado de la unidad i en el tiempo t.
 E_m : Emisiones (Ton).
f : 0.001547482 (Mbu-ton/Mwh_{in}-lb).
 F_i^j : Costo ficticio j, unidad i (\$/h).
F.O : Función Objetivo.
FOR : Force Out Rate, tasa de salida forzada o indisponibilidad.
 F_t : Costo total en el período T (\$).
G : Abreviación, unidad ficticia *Gen*.
Gen : Abreviación, unidad ficticia de compra de permisos entre unidades generadoras.
H : Hora.
 k_1 : Costo de permisos GEN (\$/ton).
 k_2 : Costo de permisos ORG (\$/ton).
 k_3 : Costo de incumplimiento MULTA (\$/ton).
K : Porcentaje de permisos adicionales respecto al total otorgado, organismo de fiscalización.
L : Costo Marginal (\$/Mwh).
lb : Libras.
M : Abreviación, unidad ficticia *Multa*.
Mbtu : Millón de Unidad Británica Térmica.
Mwh : Millón de watt-hora.
 N_i^j : Emisión unidad ficticia j, unidad i (ton/h).
ng : Número de unidades generadoras.
 NP_i : Nivel de emisión permitido para la unidad i (ton)
O : Abreviación, unidad ficticia *Org*.
Org : Abreviación, unidad ficticia de compra de permisos a un organismo de fiscalización.
P : Potencia (Mw).
 p_i : Potencia de quiebre de las emisiones, linealización a dos tramos, unidad i (Mw).
 P_i : Potencia generada por la unidad i (Mw).
 P_{i1}^j : Potencia generada por la unidad ficticia j, primer tramo de linealización, unidad i (Mw).
 P_{i2}^j : Potencia generada por la unidad ficticia j, segundo tramo de linealización, unidad i (Mw).
 $P_{máx_i}$: Potencia máxima, unidad i (Mw).

- $P_{\text{mín}_i}$: Potencia mínima, unidad i (Mw).
 P_r : Potencia racionada (Mw).
 q_i : Disponibilidad, unidad i.
 $S[]$: Estimado de la desviación estándar de una variable.
 t : Tiempo (horas).
 T : Horizonte de tiempo (24 horas).
 ton : Toneladas.
 w : Ponderación, 1.001 para el caso F.O.II.
 γ_i : Término constante, emisiones unidad i (ton/h).
 η : Rendimiento (p.u).
 $\$$: Dólares.
 Δt : Intervalo mínimo de tiempo en el período T. 1 hora.

INTRODUCCIÓN

No parece arriesgado expresar que los Estados Unidos y Holanda son los países más avanzados en la materia del control de la contaminación ambiental en el ámbito mundial. Así, los Estados Unidos inicia esta carrera, a través, de la promulgación del Acta del Aire Limpio (CAA) en 1963, la cual estipulaba una lista de contaminantes tóxicos considerados peligrosos para la salud humana, algunos de los cuales eran SO_2 , NO_x , O_3 , MP, CO, Pb. Posteriormente surgieron algunas enmiendas al acta (1970), en que se establecieron estándares nacionales uniformes para la calidad del aire, la formación de la EPA (Agencia de Protección Ambiental) y la imposición de Estándares de Afluentes Basados en la Tecnología (EABT), los cuales son un determinado acuerdo del nivel de emisiones que una fuente produciría si empleara un tipo particular de tecnología para la reducción de la contaminación. En 1977 las enmiendas al acta crearon la denominación de áreas de Prevención de Severo Deterioro (PSD) y áreas de no logro, análogas a las definiciones de áreas latente y saturada estipuladas en la ley de bases generales del medio ambiente Chilena. Los EABT fueron fijados en forma más rigurosa en las áreas de PSD de forma tal de evitar el desarrollo industrial o migración de las industrias como consecuencia de un control menos estricto en ciertas áreas. En 1990 se logran los mayores avances a través de una política de incentivos descentralizada expresada como un sistema de permisos negociables de descarga. Bajo este tipo de incentivos, una vez especificada las reglas de funcionamiento del sistema, este opera de forma mas o menos automática. El programa de cumplimiento mencionado en las enmiendas consistía en un sistema de créditos para las emisiones, implantando reducciones para los SO_2 en dos fases. La fase I desde 1995 al año 2000 y fase II desde el año 2000 al 2003, dicha reducción respondía al cumplimiento de un estándar tecnológico basado en el consumo de combustible de las unidades en lb/Mbtu, con un aporte inicial de permisos derivados del historial de consumo de cada unidad. Los estándares implantados por esta enmienda fueron presentados en forma de Planes de Implementación Estatal (SIP's) y Federal (FIP's). De esta forma la ubicación geográfica y condiciones ambientales podrían determinar en algunos estados, ser más rigurosos en la fijación de los estándares de cumplimiento. Los NO_x en particular, fueron abordados dependiendo del tipo de unidad generadora ya sea esta a carbón, gas natural o ciclo combinado, diferenciando entre la forma de encendido, de consumo del combustible en la caldera y si ésta es del tipo tangencial, vertical o de pared. Lo previo en atención a lo complejo de la formación de dicho contaminante. El NO_x se genera, principalmente, bajo dos formas: NO_x térmico y NO_x del combustible (fuel NO_x). El NO_x térmico se forma cuando el nitrógeno y el oxígeno en el aire de combustión reaccionan a altas temperaturas en la flama. El NO_x del combustible se forma por la reacción de cualquier compuesto de nitrógeno en el combustible con el aire de la combustión. Las Enmiendas al Acta del Aire Limpio (CAAA) de 1990 aplican primero un enfoque tecnológico y luego analizan los riesgos residuales. Esto último, debido a que muchas veces ni la EPA ni la comunidad científica tenían claramente definidos los procedimientos para estimar riesgos, resultando de ello una traba en el proceso de regulación. La regulación vía EABT puede ser aplicada más fácilmente que aquella basada en riesgo y de esa manera se podría lograr más rápidas reducciones en los contaminantes patrones. Producto de todo este proceso vivido por los E.E.U.U, se tuvo como resultado diferentes criterios de planificación y cumplimiento, por ejemplo en el estado de New Jersey en áreas de PSD, el límite estipulado para los NO_x es de 0.17 lb/Mbtu calculado para cada hora y basado en el funcionamiento continuo de cada unidad generadora. En el estado de Florida el mismo límite es para funcionamiento mensual (30 días), excluyendo los períodos de encendido y mal funcionamiento. Las exigencias tecnológicas que una determinada regulación estatal podría exigir van desde definiciones como: Mejor Tecnología Practicable (MTP, 1972),

Mejor Tecnología Disponible (MTD, 1972), Mejor Tecnología Convencional (MTC, 1977) y Máxima Tecnología de Control Alcanzable (MTCA, 1990), esta última impuesta en las CAAA de 1990. El continuo aprendizaje de los E.E.U.U, los ha llevado a un Modelo de Planificación Integrado (IPM), el cual incorpora la variable ambiental, a través, de los costos de tecnologías de control. La función objetivo de dicho modelo es lineal y esta formada por el valor presente de todos los costos sobre el horizonte de tiempo de evaluación, costos de generación y transmisión de electricidad (i.e. costos variables de generación y control de emisiones), construcción de nuevas plantas (costos de capital) y costos fijos de operación y mantenimiento. Se consideran restricciones como margen de reserva y cumplimiento de la demanda, la cual modela cada año, dividiéndolo en estaciones, que son divididas a su vez en segmentos de carga (curvas de duración de carga, LDC), algo similar a lo que realiza Chile y Argentina.

Por su parte Holanda se fundamenta en un enfoque más amplio de regulación de problemas ambientales inserto en plan ambiental. Este enfoque se basa en la concepción de riesgos límites, consistente en determinar un nivel máximo de riesgo permisible (Maximun Permissible Risk, MPR) que corresponde a aquel punto en que los riesgos comienzan a ser inaceptables y un nivel de riesgos no significativo (Negligible Risk, NR) bajo el cual estos llegan a ser aceptables. El NR se utiliza como la meta a la cual hay que llegar y ha sido fijado como el 1% del máximo riesgo permisible (MPR). Entre estos dos límites se crea una zona gris, dentro de la cual, se deben ponderar las ventajas de la actividad involucrada contra los riesgos y desventajas envueltas. El enfoque Holandés de regulación de tóxicos utiliza fuertemente la evaluación de riesgo, para determinar cuantitativamente los riesgos a que está expuesta tanto la población como el ecosistema. Se hace una distinción entre sustancias tóxicas sin niveles umbrales (siempre es posible que ocurran efectos) y donde se asume una relación lineal entre dosis y efecto y sustancias con niveles umbrales donde no ocurre ningún efecto bajo cierto nivel de exposición y donde se asume una relación tipo S entre dosis y respuesta.

La gran innovación en la manera de abordar el problema ambiental en la generación de electricidad, dado por E.E.U.U, cambió el enfoque que muchos autores tenían en sus trabajos sobre el despacho de carga con restricciones ambientales el cual bajo la premisa de un mínimo costo de funcionamiento, comenzó a ser resuelto considerando el aspecto ambiental como otra restricción más al sistema o una ponderación de las emisiones para sumarla al costo. El Despacho Económico bajo restricciones Ambientales es modelado, antes de los 90's según J. H. Talaq (1994) [30], tanto por estrategias que dependen exclusivamente de las ecuaciones de emisión de contaminante como, a través, de patrones de difusión (Montgomery and Corn, 1967; Sullivan, 1972; Sullivan and Hacckett, 1973) [21, 28, 29], entre otras. Uno de los primeros autores que proponen transformar la restricción ambiental en un nivel de potencia máxima para las emisiones en el caso de los NO_x son Gent and Lamont (1971) [9]. Allí toman las bondades del despacho económico de carga y despacho de emisiones para conformar un algoritmo iterativo. Otro método (Tsuji, 1981) [31], considera la minimización del costo de combustible controlando el porcentaje de sulfuro del mismo, similarmente Granelli *et. al.* (1992) [10], analizan el efecto del cambio de combustible con diferentes tasas de emisión en unidades multi-combustible, a través, de una estrategia de despacho dinámico. De los 90's en adelante, las tasas de emisión según nivel de consumo de combustible en lb/Mbtu y nivel de producción lb/Mwh, hacen su aparición como criterio de operación ya sea restringiendo el consumo de combustible Mbtu/h (El-Kieb *et al.*, 1994; Asgarpoor and Benson, 1996) [6, 1] ó, a través, de curvas de tasa de emisión (Hess *et al.*, 1992) [11, 12]. En estas fechas comienza a aceptarse el problema ambiental como parte de la planificación de los sistemas eléctricos. El problema de la sub utilización de las unidades generadoras producto de las restricciones ambientales

es explorado por Hobbs (1993) [14], bajo un modelo probabilístico para el despacho en tiempo real, considerando un costo de oportunidad para el nivel de emisiones permitido de SO₂ en \$/Mwh, dejando claro, que una regla de límite de potencia generable resulta en costos de operación más altos que una regla más flexible. Relacionados con el aspecto estadístico, Breipohl *et. al.*, (1994) [20], describen la estructura para la simulación del costo de producción cronológico estocástico, mostrando las propiedades del modelo adaptivo de cumplimiento de emisiones y asignación de combustible. Jackson *et al.* (1993) [15] habla sobre el mercado de emisiones planteado para los SO₂ por las CAAA y las estrategias de cumplimiento basadas en la implantación de tecnologías limpias, por ejemplo, los quemadores de bajo nivel de NO_x. El-Kieb and Ding (1994) [7], quienes incorporan la externalidad ambiental en la función objetivo de un despacho multi-intervalo, sugieren una estrategia que evite considerar las restricciones ambientales y requerimiento de combustible, en cada intervalo de despacho, debido al aumento de los costos y emisiones respecto a restricciones en el período. A pesar del auge de la incorporación de la valorización de la externalidad ambiental, se pueden encontrar trabajos como los realizados por Ramanathan (1994) [23] y Wee and Hu (1994) [32] de minimización de la suma de costos y emisiones ponderadas, incorporándose en el último una planificación jerarquizada en el horizonte de tiempo para la reducción de SO₂, con un límite permisible de emisiones. En 1995 Chattopadhyay [2], presenta la formulación en programación lineal de un mercado para la energía y emisiones que funciona con el criterio de maximizar la economía del sistema, este mismo año Rau and Adelman [25], formulan el despacho de carga, como un problema de restricciones no lineales, llamando a operar el sistema a igual valor del multiplicador de lagrange η , en cada hora, obteniendo un costo de producción mínimo, donde η es definido como la variación incremental del costo de producción respecto a la emisión horaria. Lamont and Obessis (1995) [16], presentan los modelos entrada-salida para las emisiones de contaminantes en partida en frío, enfriamiento térmico y espera (banking) de las unidades generadoras, proponiendo la minimización de costos en cuyo procedimiento de cálculo se consideran pseudo precios para las emisiones. La utilización de pseudo precios también es encontrada en Spens and Lee (1997) [26] donde se propone un método para el despacho económico de carga bajo restricciones ambientales en un horizonte de tiempo multi-horario, minimizando el costo de costo de combustible y emisiones para los SO₂ y NO_x, utilizando un límite en tonelaje de emisión para los primeros y tasa de emisión para el segundo. Leppitsch and Hobbs (1996) [17] analizan dos políticas de regulación ambiental: la tasa de emisión límite lb/Mbtu y tonelaje de contaminante por año o por temporada. Su principal conclusión es que si el daño ambiental esta relacionado con el total de contaminante emitido, las limitaciones en tasa de emisión son ineficientes frente a las limitaciones en tonelaje máximo. Por otro lado los enfoques orientados a los algoritmos de solución para obtener bajos costos de operación, mientras se cumple con estándares y restricciones ambientales son mostrados por Srinivasan and Tettamanzi (1997) [27] y Wong and Yuryevich (1998) [33], a través, de la propuesta de algoritmos evolutivos. Por último Fan and Zhang (1998) [8], resuelven el problema de minimizar costos, proponiendo una solución vía programación cuadrática, donde las restricciones ambientales son modeladas con desigualdades de tipo lineal.

El mercado de emisiones propuesto en este trabajo añade las emisiones a la función objetivo, constituyéndose en una herramienta ideal para la planificación basada en la colocación de unidades según una lista de prioridades. Agregar los aspectos probabilísticos que provienen de las características aleatorias de funcionamiento de una unidad generadora, caracterizada comúnmente por su tasa de salida forzada (FOR), e inherente a la demanda de un parque de generación, lleva el problema de planificación a un área donde se hace indispensable reconocer el carácter estocástico de su evaluación. Este es un aspecto abordado en la planificación Chilena a través de la Dirección de Operación, la cual entre otras cosas, tiene la tarea de instruir al Centro de Despacho y Control con

que cuenta cada CDEC (Centro de Despacho Económico de Carga), realizando la programación de corto plazo para la operación de las unidades generadoras, indicando el valor medio horario de generación de las diversas centrales en cada una de las 24 horas del día [5]. Es por tanto imprescindible que la inserción ambiental, también cubra dicho aspecto.

El contenido principal de este trabajo esta ordenado de la siguiente forma, según capítulo tratado:

Capítulo I. Estado del Arte: Se realiza un compendio de los trabajos relacionados en el tema del despacho de carga bajo restricciones ambientales, recogiendo parte del contenido e ideas planteadas por los autores. Al finalizar se presenta una conclusión y síntesis, destacando las ideas aprovechadas en la realización del presente trabajo.

Capítulo II. Planteamiento del Problema: Se plantea el problema ambiental como fallo de mercado en la búsqueda del óptimo social, mostrando los instrumentos utilizados para la implantación de regulaciones ambientales, además se presenta una breve visión sobre la preocupación ambiental internacional.

Capítulo III. Solución Propuesta: Se propone la solución al problema del despacho económico bajo restricciones ambientales, dilucidando el modelo en costos y comportamiento probabilista del parque de generación y demanda horaria, además de las hipótesis de base para el mismo. Se expone el problema de optimización a resolver, el cual se plantea bajo 3 alternativas a medida que se avanza en el contenido. Además se menciona a grandes rasgos algunas características de la resolución computacional asociada al modelo.

Capítulo IV. Aplicación: Presenta los resultados de aplicación del modelo propuesto y problema de optimización para los sistemas de prueba (3, 5, 9 y 18 unidades).

Capítulo V. Análisis de Resultados: Analiza los resultados de aplicación dividiéndolos en: (1) aquellos que resultan idénticos para los problemas de optimización propuestos como F.O.I y II, (2) aquellos resultados que reúnen características comunes a todos los sistemas de validación y (3) aquellos resultados que destacan características propias de cada sistema de prueba, aludiendo a tales como caso particular.

Finalmente se presentan las conclusiones resultantes.

Capítulo I

Estado del Arte

1.1 Revisión Bibliográfica

El problema del despacho de carga para un sistema de unidades generadoras, considerando las restricciones ambientales ha sido abordado por muchos autores:

Sohrab Asgarpoor, Scott Benson [1]. Escriben sobre los aspectos de las Enmiendas al Acta del Aire Limpio de 1990 (CAAA), refiriéndose a que las regulaciones ambientales exigidas requieren que las estrategias de despacho incluyan las restricciones de emisión en el proceso de optimización. Las regulaciones ambientales tendientes a reducir las emisiones en los E.E.U.U, son separadas en dos fases: la fase I, que se inició en 1985 y fase II, iniciada en el año 2000, donde la tasa de emisión exigida para los SO_2 varía de 2.5 a 1.2 lb/Mbtu, con un límite de generación anual. Se escribe sobre la creación del mercado de emisiones para los SO_2 bajo el cual una unidad generadora puede vender o comprar permisos dependiendo de su cumplimiento con las limitaciones impuestas. En su trabajo proponen una función objetivo consistente en la suma ponderada del costo de generación total y emisión, en que las restricciones del sistema son idénticas al modelo usual de costo de producción. El método de Monte Carlo es usado para la generación aleatoria del estado del sistema y demanda del mismo. El problema de optimización se construye de la información anterior, considerando las curvas de rendimiento (Heat Rate) de cada unidad, siendo resuelto por técnicas de programación lineal. Las restricciones utilizadas corresponden a balance de carga y consumo efectivo de combustible para las unidades afectadas en Mbtu. Concluyen de los resultados obtenidos, que los costos generados por la implementación de las distintas fases de regulación, son altamente dependientes del tipo de unidades consideradas y el nivel de emisiones proyectados de SO_2 .

D. Chattopadhyay [2]. Presenta la formulación vía programación lineal de una bolsa de corredores (Brokers) de energía para la planificación de la operación, en que el comercio de emisiones entre los participantes es hecho con el objetivo de reducirlos. La compra y venta de la potencia y cuotas de emisión es calculada y comunicada por una central de corredores, que realiza dicho cálculo con el criterio de planificación que maximiza la economía del sistema interconectado (Shapley value). El autor concluye que dicho criterio refleja la verdadera contribución marginal de un participante a la economía agregada del sistema de generación y por lo tanto es superior al método clásico de colocación de unidades.

A. A. El-Kieb, H. Ma, J. L. Hart [6]. En su trabajo discuten los efectos de la promulgación del Acta del Aire Limpio de 1990 en el problema del despacho económico. En vista de la nueva regulación para las emisiones de SO_2 , realizan la formulación general del problema con restricciones ambientales, considerando las ecuaciones de consumo de combustible, costos variables de operación y mantenimiento. La restricción ambiental se hace presente a través de un límite de emisiones en toneladas por hora para el sistema y restricciones en la utilización del combustible en Mbtu/hr. El balance de potencia considera la demanda y pérdidas de transmisión. Se considera límites mínimo y máximo para la potencia de cada unidad generadora. Los autores proponen además otras estrategias de operación para el sistema, las cuales son evaluadas a través de un sistema-prueba de 101

unidades. Entre las estrategias evaluadas se encuentra la opción de compensar la potencia de aquellas unidades que se encuentran subutilizadas, producto de la regulación impuesta.

A. A. El-Kieb, H. Ding [7]. Proponen dos estrategias para resolver el problema del despacho económico sujeto a restricciones ambientales, las cuales reflejan los requerimientos impuestos por las Enmiendas al Acta del Aire Limpio. Una estrategia esta basada en la compensación de la potencia subutilizada de las unidades (CGP) incorporando a la función objetivo un costo que penaliza las emisiones netas en el periodo de estudio, siendo esta la estrategia más atractiva para cumplir con el requerimiento de utilización efectiva de combustible y penalización. Dicha estrategia es simple y utiliza un despacho económico estándar con un mínimo de modificaciones para cumplir con la minimización de costos bajo restricciones en un intervalo de tiempo. El segundo método también basado en programación lineal (LPSA) resuelve el problema del despacho, transformando las restricciones de quema de combustible y emisiones a un equivalente en cada intervalo de tiempo. La función objetivo y restricciones ambientales son variables cuadráticas separables lo que las hace lineales por tramo. El esquema propuesto esta basado en programación lineal utilizando el método del gradiente para garantizar una solución factible. Como conclusión los autores sugieren una estrategia de cumplimiento que evite considerar los requerimientos de emisiones y quema de combustible en cada intervalo de tiempo.

Y. J. Fan and L. Zhang [8]. Proponen una estrategia práctica para abordar el problema del despacho económico en tiempo real con restricciones ambientales, a través, de la solución vía programación cuadrática. Las funciones de costo son consideradas de tipo cuadrático respecto a la potencia generada. Las restricciones ambientales son modeladas con igualdades y desigualdades de tipo lineal. Las ecuaciones de emisión para los diferentes pululantes dependiendo del tipo pueden ser cuadráticas o lineales respecto a la potencia de salida. Se escribe que una aproximación lineal en función de los Mw de Salida para la emisión de pululantes es aceptable en el despacho de tiempo real. La restricción ambiental considera un límite de emisiones permitido para el parque generador en un intervalo de tiempo dado. El balance de potencia considera la demanda y pérdidas de transmisión. Para las unidades generadoras se considera mínimos y máximo técnicos, además de zonas de operación prohibitivas y rampas para el incremento de potencia. Bajo condiciones de infactibilidad los autores incluyen programación por objetivo, garantizando la buena calidad de la solución obtenida.

R. M. Gent and John. Wm. Lamont [9]. Basados en los estudios realizados en la ciudad de los Ángeles (E.E.U.U), proponen una nueva técnica para realizar el despacho económico de unidades térmicas con restricciones ambientales comparándola con dos técnicas comúnmente estudiadas, como es el despacho económico con mínimo costo de combustible y el despacho con mínima emisión, esta nueva técnica restringe la potencia máxima de las unidades según una cantidad de emisiones máxima calculada, resultando en costos que se encuentran entre las dos anteriores. La restricción ambiental es abordada por la modelación de la ecuación de emisión para los NO_x , por una ecuación de primer orden junto con dos términos exponenciales, pudiendo ser reducida a una ecuación de primer orden con un término exponencial. Los términos constantes de dicha ecuación son obtenidos, a través, de una estimación de mínimos cuadrados discretos sobre los puntos obtenidos en mediciones de las unidades generadoras a distintos niveles de carga (25%, 50%, 75% y 100%). Concluyen escribiendo que la técnica propuesta y la técnica de mínima emisión resultan en altos costos de operación, además de mencionar como necesaria la inclusión de las pérdidas de transmisión en el despacho de emisiones para los NO_x .

G. P. Granelli, et al. [10]. En su trabajo proponen un despacho dinámico durante un horizonte de tiempo preseleccionado que toma la naturaleza integral de las restricciones de emisión. Se exploran las posibilidades de cambio de combustible con diferentes tasas de contaminación y el manejo de múltiples combustibles en aquellas plantas que aceptan la combinación de los mismos. Lo anterior con el propósito de obtener un mínimo costo efectivo de operación para todas las plantas térmicas en cumplimiento con las restricciones de emisión impuestas. Para la resolución del problema de programación no-lineal de gran escala se emplea una modificación del algoritmo de Han-Powell. Además se utiliza un método para obtener la solución subóptima del problema de programación no-lineal entero mixto que lleva a cabo el cambio de un combustible por otro. El sistema prueba esta constituido por un pequeña red CIGRE y un sistema italiano los cuales son presentados para evaluar los procedimientos propuestos

S. W. Hess, et al. [11]. Escriben acerca de los requerimientos para las emisiones de SO_2 y NO_x introducidos por el Acta del Aire Limpio y la implicancia en los costos de operación generados por las restricciones ambientales, planteando algunas interrogantes, acerca de las dificultades que se podrían generar. Su artículo describe las prácticas de operación con restricciones ambientales para los NO_x en los distritos del sur de California (E.E.U.U), donde se controla la calidad del aire. Se refieren a los requerimientos exigidos para los NO_x y como se realiza la colección de datos en tiempo real en las plantas eléctricas de mayor tamaño, a través, de un monitoreo continuo para el óxido nítrico, dióxido de nitrógeno, y óxido nitroso. Se menciona que el programa de control mide el impacto de varias estrategias de control para el NO_x , en cada unidad o en el sistema completo, simulando el sistema sobre un período de 24 horas. El programa mencionado incluye datos sobre la demanda, costos de combustible y curvas de tasa de emisión (lb/Mwh) construidas en tiempo real, para cada unidad obtenidas por aproximaciones basadas en la medición de concentraciones a la salida de la chimenea. El programa cambia automáticamente de un despacho económico (igual costo incremental para el sistema) a un despacho con mínima emisión de NO_x (igual emisión incremental para el sistema) en determinadas horas dependiendo de ciertos criterios de operación. Al finalizar se discuten algunos beneficios y costos del sistema empleado.

S. W. Hess, et al. [12]. Contribuyen en la preparación de un documento sobre los problemas en la planificación de la operación de los sistemas eléctricos a partir de los 90's. El reporte trata entre otras cosas sobre la consideración de las restricciones ambientales producto de la promulgación del Acta del Aire Limpio, y el impacto de dichas restricciones. Se comenta acerca del programa de reducción de NO_x utilizado en el sur de California (E.E.U.U). Otro problema que se menciona es el ignorar las restricciones impuestas por el sistema de transmisión, el cual producto de su creciente expansión a lo largo de los años ha llegado a tener gran influencia en la generación del sistema.

B. F. Hobbs [14]. Basado en el título IV del Acta del Aire Limpio, escribe en su trabajo sobre el problema de subutilización de las unidades generadoras al restringir la potencia de las mismas, exponiendo algunas preguntas sobre el tema. Uno de los propósitos de este trabajo es comparar el impacto de la contabilidad anual versus la subutilización, sobre los costos y emisiones. Comenta que el despacho con bajo nivel de emisiones altera el orden de mérito de las unidades generadoras con más alta tasa de emisiones (lb/kwh). Además discute sobre el mercado de emisiones propuesto por el acta para el SO_2 . Desarrolla en su trabajo un modelo probabilístico, para el despacho en tiempo real, considerando un costo de operación para cada unidad generadora que incluye el costo de oportunidad para el nivel de emisiones de SO_2 permitido en \$/Mwh. Considerando además en su función objetivo un costo de penalización por demanda no servida en \$/Mwh, el cual debe exceder el costo de operación de todas las unidades, para que de esta forma la opción de racionamiento sea la

última luego de haber despachado las mismas. El modelo es resuelto, a través, de un método de relajación lagrangiano. Concluye su trabajo, escribiendo que una regla que limite la potencia generable de las unidades (Subutilización), se traduce en costos de operación más altos que una regla más flexible.

T. M. Jackson et al. [15]. Mencionan el programa de reducción de emisiones de SO_2 y NO_x , producto de la promulgación del Acta del Aire Limpio, se comenta el impacto de las restricciones impuestas en el Valle de Tennessee y las estrategias de cumplimiento desarrolladas allí, como son, la instalación de quemadores con bajo nivel de emisiones de NO_x y depuradores para reducir las emisiones de SO_2 . Escriben acerca de los problemas de operación del sistema al considerar las restricciones ambientales, formulando algunas interrogantes al respecto. Se escribe sobre el mercado de emisiones propuesto por el Acta para el SO_2 , comentando que por definición el permiso de emisión es el permiso para emitir una tonelada más de contaminante. Se discute sobre los beneficios y costos generados por la consideración ambiental y los precios de transacción.

J. W. Lamont, E. V. Obessis [16]. Comenta sobre las dos principales emisiones de contaminantes producidas por centrales térmicas, el dióxido de sulfuro y los óxidos de nitrógeno. Describen el proceso mediante el cual estos contaminantes son formados, aludiendo además lo complejo de las emisiones de NO_x . Escriben en su trabajo sobre los dos tipos de modelos para las emisiones que se pueden encontrar; modelos entrada-salida, basados en el consumo de combustible y modelos salida-salida, basados en mediciones de emisiones en las chimeneas de las plantas eléctricas, mencionan que para cumplir con los requerimientos del Acta del Aire Limpio se deben considerar este último tipo de modelos. En este trabajo además de presentar como obtener modelos entrada-salida, en función de la potencia generada, se presentan modelos de emisiones para la partida en frío, enfriamiento térmico y espera (banking). Se mencionan las distintas estrategias usadas históricamente para solucionar el problema del despacho económico ambiental, proponiendo un algoritmo de despacho que minimiza los costos, en cuyo procedimiento se considera pseudo precios para las emisiones formados, a través, de las ecuaciones de emisión, consumo de combustible, emisiones incrementales y costos incrementales. La solución se obtiene restringiendo aquellas unidades generadoras con más alta tasa de emisión incremental respecto al costo incremental. El algoritmo de solución es comparado y evaluado frente a otras estrategias, considerando funciones de consumo de combustible y emisión del tipo cúbicas respecto a la potencia generada para los NO_x y SO_2 .

M. J. Leppitsch, B. F. Hobbs [17]. Considerando las restricciones impuestas por el título IV del Acta del Aire Limpio para los NO_x , plantean algunas preguntas frente a la regulación ambiental. Mencionan dos políticas para el control de las emisiones; tasa de emisiones límite (lb/Mbtu) y tonelaje de contaminantes por año o por temporada. Presentan en su trabajo un método que minimiza el costo anual a través de programación lineal, basados en el método de Bloom & Gallant, la restricción ambiental es abordada, como una tasa de emisiones límite y como un tonelaje límite al año. Los autores concluyen su trabajo, escribiendo que si el daño ambiental esta relacionado con el total de pululante emitido, las limitaciones en tasa de emisiones son ineficientes frente a limitaciones de tonelaje máximo. Además, para una misma cantidad de emisiones los límites en tonelaje producen costos más bajos. Se comenta que la ineficiencia de los límites en tasa de emisiones es debida a la dilución del Btu, al estimular el uso del combustible y al desincentivo para comercializar la energía.

Arthur M. Breipohl, et al. [20]. En su trabajo describen una estructura de simulación del costo de producción de forma cronológica estocástica, a utilizar en la planificación de la operación. Las principales características de esta estructura son: la captura de los aspectos cronológicos de la producción de potencia, el modelado en forma adaptiva del cumplimiento de las restricciones anuales de emisión y combustible además de la modelación de la disponibilidad de la generación utilizando el muestreo condicional de Monte Carlo. Los autores escriben que el propósito de su trabajo es demostrar que el tipo de estructura utilizado produce resultados de baja varianza para el modelado de la incerteza con requerimientos aceptables de cálculo. Se escribe sobre la ventaja de la simulación cronológica por sobre la probabilística debido a que mantiene la cronología de la carga haciéndola ideal para la determinación de decisiones sobre compromiso de unidades, despacho horario, uso horario de combustible y costo marginal. Además se menciona que los costos horarios y uso de combustible están basados en restricciones cronológicas como lo son el costo de encendido y apagado, así como restricciones ambientales en horizontes de tiempo ya sean horarios, semanales o anuales. El análisis cronológico es realizado a través de un número de muestras determinado por la razón entre la desviación estándar y media de la variable de interés.

R. Ramanathan [23]. Propone dos estrategias para solucionar el problema del despacho con restricciones ambientales. La primera de ellas corresponde a la minimización de una función objetivo que considera las funciones de costo de las unidades generadoras más la suma de las emisiones ponderadas de las mismas para cada tipo de pululante, indicándose una técnica de rápida convergencia para la determinación de los factores de peso. La segunda técnica propuesta considera un “método con forma parcial cerrada” para implementar el despacho económico con restricciones ambientales, basada principalmente en que si las restricciones en emisiones son de tipo lineal y conocidas, entonces es posible encontrar una solución cerrada al problema. En caso de que dichas restricciones no sean lineales, una linealización sucesiva es lo indicado. Se menciona además un procedimiento a seguir en caso de que el problema no tenga solución debido a las restricciones del mismo. Las estrategias propuestas son comparadas con otros cuatro métodos comentados. Las funciones de costo y emisión son modeladas en forma cuadrática respecto a la potencia generada de cada unidad.

Narayan S. Rau, Stephen T. Adelman [25]. Dado los requerimientos de las CAAA formulan el problema de despacho como un problema de minimización con restricciones no-lineales. Indicando que el sistema de potencia debe operar a igual valor del multiplicador de Lagrange η , en cada hora, obteniendo un costo de producción mínimo, donde η es definido como la variación incremental del costo de producción respecto a la emisión horaria. Se sugiere además un procedimiento para la determinación de η . Los autores incluyen la tasa de salida forzada de los generadores (FOR) en forma determinista multiplicando la disponibilidad (1-FOR) por la capacidad de generación de las unidades. Los resultados del estudio realizado son obtenidos de un sistema prueba consistente en unidades generadoras de tipo nuclear, carbón y gas natural.

William Y. Spens, Fred. N. Lee [26]. Proponen un método para el despacho con restricciones ambientales en un horizonte de tiempo multi-horario minimizando el costo de consumo de combustible y emisiones, con una búsqueda en dos dimensiones, i.e. SO_2 y NO_x . Asignando precios a las emisiones de ambos contaminantes, los cuales son determinados a través de un proceso iterativo. La formulación del problema abarca: límites técnicos de generación para cada unidad, además de sus rampas de subida Mw/h, reserva disponible para el sistema, límite de emisiones para el SO_2 en toneladas sobre el horizonte de estudio, límite en tasa de emisiones sobre el horizonte de

estudio (lb/Mbtu) para el NO_x . La modelación de las funciones de consumo de combustible (Mbtu/h) es de tipo cuadrático, al igual que las funciones de emisión para el dióxido de sulfuro. La función de emisión para los NO_x , es una función del consumo de combustible que resulta de tipo cúbica para la potencia al modelar la tasa de emisión como una función lineal de la misma. Los autores analizan un sistema ejemplo, donde se muestra la determinación de precios. Al finalizar el método es aplicado a un sistema de 21 unidades. Quizás uno de los mayores detalles en el método, es la modelación de la tasa de emisiones para los NO_x , como una función lineal de la potencia, si bien es cierto este es un buen modelo para ciertas unidades, la gran mayoría presentan características altamente no lineales (forma de “U”).

D. Srinivasan, A. Tettamanzi [27]. Analizan el impacto económico del despacho de emisiones, y del cambio de combustible. Explorando los potenciales cambios de operación en el despacho de las unidades generadoras para obtener bajos costos de operación, mientras cumplen con estándares ambientales. Se presenta aquí un algoritmo de tipo evolutivo heurísticamente guiado para resolver el problema con restricciones multiobjetivo, asegurando la factibilidad de la solución y reduciendo el tiempo de cálculo. Sin embargo se debe notar que lo anterior no garantiza que la solución sea la óptima. Los autores realizan comparaciones entre los costos y emisiones producidas por diferentes funciones objetivo: Mínima emisión de NO_x , Mínima emisión de SO_2 , Mínimas emisiones totales de NO_x , SO_2 , CO_2 y partículas, Mínimo costo total (despacho económico) y combinaciones de estas estrategias con cambio en el tipo de combustible. la función de costos de combustible es modelada en forma cuadrática respecto a la potencia de salida, al igual que las funciones de emisión para todos los tipos de pululantes. Finalmente concluyen que el modelo propuesto puede ser utilizado para evaluar múltiples estrategias de operación y proyecciones anuales, además de poder ser aplicado en tiempo real.

J. H. Talaq, Ferial and M. E. El-Hawary. [30]. Realizan un sumario sobre los algoritmos relacionados con el despacho económico ambiental desde el año 1970, para los polucionantes SO_2 y NO_x , causados por la operación de centrales térmicas. Mencionan que el empleo del carbón como combustible produce pululantes tales como el material particulado, óxidos de carbono, óxidos de sulfuro y óxidos de nitrógeno, escriben que el daño causado por cada pululante depende del tipo, condiciones meteorológicas, y tiempo de exposición al mismo. Los autores mencionan que las emisiones de contaminantes pueden ser reducidas por tres métodos, como son:

- a) Sistemas de limpieza post-combustión, tales como precipitadores electrostáticos, lo cual requiere de un considerable tiempo de diseño y costo de inversión.
- b) Cambio a combustibles con bajos niveles de emisiones. Sin embargo este cambio también supone un cambio en cuanto a costos a pagar y disponibilidad en el mercado.
- c) Despachar el nivel de potencia que minimiza las emisiones.

Se comenta del primer método, que requiere del diseño e instalación de equipo nuevo, mientras que el segundo requiere modificar el equipo existente y forma de control. El tercer método resulta ser la alternativa más rentable puesto que solo requiere del cambio de la programación del despacho, para incluir las consideraciones ambientales. Se escribe además sobre los problemas que se presentan al modelar las ecuaciones de emisión de NO_x , que tienen una característica altamente no lineal, en función de la potencia de salida de la unidad generadora. Se menciona que el cambio dE/dP , presenta una característica no creciente, sino mas bien forma de “U”, lo cual causa dificultades en la

resolución de los algoritmos, otra dificultad mencionada es que la utilización directa de las ecuaciones de emisión en la problemática del despacho, no considera las condiciones meteorológicas. Este último aspecto es considerado en los modelos de dispersión o de difusión que relacionan las concentraciones de contaminantes con sus niveles de emisión a la atmósfera. Se menciona como uno de los modelos de este tipo más populares al USPHS-TVA de *Montgomery y Corn* [21] utilizado también por *Sullivan* [28] y *Sullivan y Hackett* [29], otro modelo mencionado es el modelo gaussiano de la columna de humo.

Se escribe también sobre la valorización de la externalidad ambiental, donde se indica que una aproximación del valor que significa reducir el impacto sobre la vida humana y el ambiente producto de la producción de energía lo constituye la valorización de la externalidad ambiental, la cual generalmente se encuentra en \$/kg de emisiones. El costo social completo es comúnmente establecido como el costo/Kwh generado.

Se menciona cuatro enfoques básicos para la valorización de la externalidad ambiental, aludidas por los autores *Chernick y Caverhill* [3]:

- ☞ Estimación de la potencia física, química o toxicológica de varios pululantes.
- ☞ Opinión de expertos en el campo de interés.
- ☞ La valorización y contribución de cada uno de los efectos medio ambientales causados por los pululantes.
- ☞ Determinación del valor social implícito de reducción del contaminante, a partir del máximo costo que la sociedad ha considerado pagar para reducir las emisiones.

Entre las estrategias que se mencionan, se puede encontrar algunas que dependen exclusivamente de las ecuaciones de emisiones de contaminantes, mientras que otras están estrechamente relacionadas con modelos de difusión:

- ☞ Mínima emisión satisfaciendo la demanda del sistema, sin considerar las pérdidas de transmisión.
- ☞ Mínima emisión con restricción de costos.
- ☞ Mínimo costo con emisiones controladas.
- ☞ Mínima concentración al nivel del suelo.
- ☞ Mínimo costo con restricción en la concentración.
- ☞ Mínimo de la suma ponderada de costos y emisiones.

Variaciones de las primeras tres estrategias apuntan a controlar la concentración de contaminantes en ciertas áreas, como son:

- ☞ Minimizar la emisión en un área crítica del sistema.

☞ Limitar emisiones en áreas críticas del sistema.

☞ Limitar emisiones en cada área del sistema.

A. *Tsuji* [31]. Describe un método para el despacho económico con restricciones ambientales, que considera el control sobre el porcentaje de sulfuro en el combustible utilizado. La formulación del problema incluye la minimización del costo de consumo de combustible, a través, de la determinación de los valores óptimos de potencia generada y porcentaje de sulfuro para cada unidad generadora del sistema. El balance de potencia considera únicamente el valor de la demanda. Para los límites de potencia de cada unidad se utiliza valores mínimos y máximos. Las restricciones en cuanto al SO_2 , consideran un límite permisible de emisiones por hora para el sistema, además de límites mínimos y máximos en porcentaje de sulfuro para el combustible de cada unidad. Se presenta además en este trabajo un método desacoplado para el control de las emisiones en tiempo real o en línea, basado en el cambio de combustible. Finalmente son analizadas y comparadas, variaciones del método propuesto mediante un sistema ejemplo.

William G. Wee, Yong-Lin Hu [32]. Proponen una solución al despacho económico con restricciones ambientales en tiempo real, a través de la subdivisión del sistema fuera de línea, en 4 escalas de tiempo o jerarquías, siendo estas anual, mensual, diaria y horaria, para considerar el límite permisible de emisiones. El despacho de potencia es coordinado mediante el análisis del sistema en línea y fuera de línea. La formulación del problema considera la minimización de una función objetivo en un horizonte de tiempo dado con factores de peso para el costo total del consumo de combustible y el costo total para las emisiones de SO_2 (funciones de costos ponderadas), se considera un límite permisible de emisiones para el horizonte de tiempo en toneladas. El balance de potencia considera pérdidas de transmisión e intercambio de potencia con otras áreas. Para las unidades generadoras se consideran límites mínimos y máximos de potencia. La función de costos de combustible es modelada como una función cuadrática de la potencia de salida de cada unidad. La función de emisión de SO_2 , es modelada como una función proporcional a los Mbtu/hr consumidos. Se explica y expone el algoritmo de solución basado en la determinación de los factores de peso iniciales para cada nivel jerárquico de tiempo. Los autores finalizan su trabajo aplicando el algoritmo propuesto a un sistema ejemplo.

K. P. Wong and J. Yuryevich [33]. Presentan un eficiente y confiable algoritmo para resolver el problema del despacho económico con restricciones ambientales, basado en programación evolutiva o algoritmo genético. La demanda puede ser especificada para múltiples intervalos en el horizonte de tiempo en estudio. Se muestran técnicas para acelerar la solución y agregar robustez al algoritmo. Las restricciones consideradas en el algoritmo las componen la demanda, las pérdidas de transmisión, límites técnicos de generación y límite total de emisiones para cada contaminante sobre el horizonte de tiempo considerado.

I.2 Conclusión y Síntesis

En conclusión es posible decir que en la literatura, no se ha considerado en forma adecuada el modelado del problema que se plantea. El tratamiento probabilístico de la generación si bien es cierto, es conocido, no se ha incorporado de buena forma a un parque de generación bajo restricciones ambientales con el uso de herramientas de mercado, i.e., el Sistema de Permisos de Emisión Transables, dando en muchos casos, mayor importancia a los métodos de solución, que a los modelos, a través, del cual se valoriza el costo social que implica la polución ambiental. Sin embargo, existen algunas ideas que se hace necesario sintetizar, por su relación con lo propuesto:

- ▣ Las Enmiendas al Acta del Aire Limpio de 1990 (CAAA), refiriéndose a las regulaciones ambientales exigidas, requieren que las estrategias de despacho incluyan las restricciones de emisión en el proceso de optimización [1].

Comentario: Incluir la restricción ambiental en el proceso de optimización podría significar incluir la externalidad ambiental en la función objetivo, lo cual se ha hecho en la literatura, a través, de pseudo precios y la conocida ponderación de costos y emisión. Este aspecto reflejaría para la primera el verdadero costo social \$/Mwh marginal para el sistema. Además, es una forma atractiva para la incorporación de modelos con herramientas de mercado.

- ▣ Se sugiere como una adecuada estrategia de cumplimiento ambiental a aquella que evite considerar requerimientos de emisiones y quema de combustible en cada intervalo de tiempo [7].

Comentario: Considerar restricciones por intervalo de tiempo (i.e., 1 hora) podría llevar en el corto plazo (1 día) bajo un SPET, a errores en el funcionamiento económico del sistema, que se traduciría en una mala explotación del mismo. Por ejemplo, La premisa de un mínimo costo de funcionamiento en un período multi-horario, no necesariamente se traduce en la minimización de los costos horarios.

- ▣ Una regla que limite la potencia de las unidades generadoras (subutilización), se traduce en costos de operación más altos que una regla más flexible en este aspecto [14].

Comentario: Es claro que la subutilización producto de una estricta reglamentación ambiental, produzca costos de operación más altos, no solo por el bajo aprovechamiento por diseño, sino también por el aumento del costo marginal del sistema, debido al despacho (bajo una lista de prioridades) de unidades de costo incremental elevado. Además, bajo incertidumbre, la restricción de capacidad del sistema y su ligazón con el racionamiento, también contribuirá a valores esperados elevados del costo marginal y de funcionamiento. Esto último es un aspecto importante en la planificación Chilena. Una reglamentación más flexible se traduce en costos más bajos, e incluso cercanos a los del funcionamiento normal del sistema no restringido, como es demostrado en [24] bajo un Sistema de Permisos de Emisión Transables, incentivando la inversión en tecnologías de control más limpias.

- ▣ El cumplimiento de los requerimientos del Acta del Aire Limpio, requiere de modelos del tipo Output-Output para las emisiones, i.e., basados en mediciones en las chimeneas de las plantas eléctricas y su potencia generable [16].

Comentario: Los modelos de emisión considerados en gran parte de las investigaciones, están basadas en análisis estequiométricos, o de composición del combustible, sin embargo estos modelos han demostrado tener deficiencias, producto de variables como: el exceso de aire y temperatura, factores importantes en las emisiones de los NO_x, los cuales tienen una formación extremadamente compleja. La medición en la chimenea de las plantas eléctricas ya sea de concentración, flujo de gas, etc. constituye un método caro respecto al anterior, pero de mayor eficiencia en cuanto a la fiscalización, como lo ha demostrado E.E.U.U.

- ☞ Si el daño ambiental está relacionado con el total de pululante emitido, las limitaciones en tasa de emisiones son ineficientes frente a limitaciones de tonelaje máximo. Además, para una misma cantidad de emisiones los límites en tonelaje producen costos más bajos [17].

Comentario: A lo anterior se debe agregar, que internacionalmente se ha demostrado que la fiscalización del cumplimiento es más fácil de realizar con límites en tonelaje, no solo por el monitoreo continuo, sino por el control que se debe tener en cuanto a los combustibles utilizados en caso de tratarse de tasas de emisión según nivel de consumo energético, a pesar de que gran parte de las restricciones ambientales en tonelaje están basadas en estas últimas. Un ejemplo de ello es la Compilación de Factores de Emisión de Polucionantes del Aire (AP-42), difundido por la EPA, el cual reúne tasas de emisión de referencia para distintos tipos de fuente (estacionaria, puntual y de área).

- ☞ El mercado de emisiones propuesto por el Acta del Aire Limpio define el permiso de emisión, como el permiso para emitir una tonelada más de contaminante [15].

Comentario: El fijar el permiso de emisión en una unidad de medida adecuada, es un problema que deben resolver las autoridades competentes, sin embargo, el conocimiento internacional y la denominación de las centrales térmicas por parte de la legislación Chilena como megafuentes contaminantes, debido a que sus emisiones superan la tonelada al día [19], da el punto de partida a utilizar las toneladas como medida de emisión.

Capítulo II

Planteamiento del Problema

II.1 La Externalidad Ambiental como Fallo de Mercado

La energía es parte central de la actividad económica y la vida social, lo que otorga vital importancia al sector eléctrico lo anterior ha hecho que en todos los países desarrollados se este desarrollando un proceso de reestructuración del sector para mejorar la eficiencia en la asignación de recursos. Hoy en día esta asignación de recursos tiende a incorporar el aspecto ambiental en las herramientas de mercado buscando reflejar los costos y beneficios en los distintos niveles, como son: generación, transporte y distribución. En particular lo anterior, busca un óptimo social al incorporar los posibles impactos causados por la contaminación, principalmente atmosférica (emisiones de SO₂, NO_x, PM y CO₂) en los precios eléctricos, principal componente de la toma de decisiones y asignación de recursos. La no incorporación de externalidades, tales como, el especto ambiental es conocido como fallo de mercado y es la causante de que no se produzca la máxima eficiencia social, provocando por tanto que el medio ambiente asuma dicho costo, en desmedro de su degradación y destrucción.

II.2 Instrumentos de Regulación Ambiental en el Sector Eléctrico

Una breve descripción de los instrumentos de regulación existentes se puede encontrar en [19], sin embargo estos pueden ser separados en dos grupos: (1) Aquellos establecidos para alcanzar un objetivo medioambiental previamente fijado por un regulador, que a su vez, podrá ser o no el correspondiente al punto de máxima eficiencia social y (2) los que tratan de alcanzar el punto de máxima eficiencia social directamente, mediante la internalización de las externalidades medioambientales de cada actividad en las decisiones del sector.

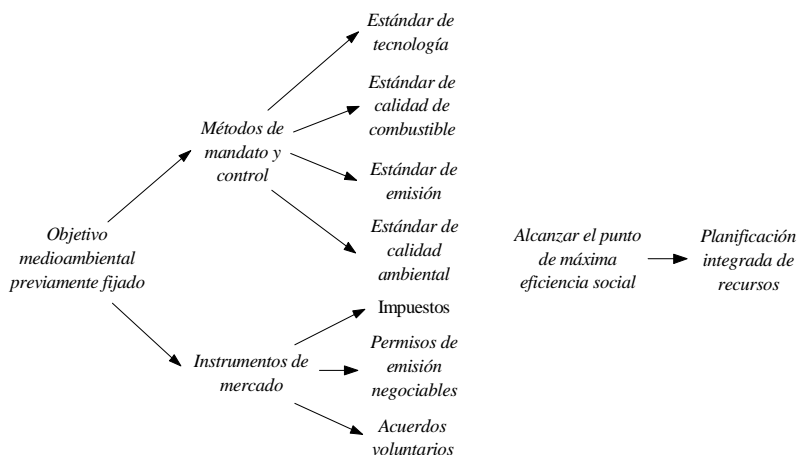


Figura II.1. Instrumentos regulatorios de acuerdo a su objetivo

Los primeros no estimulan la reducción de emisiones más allá de los límites fijados, con lo que tampoco se incentiva la baja de costos de las tecnologías de reducción, dentro de estos, los métodos de mandato y control establecen una restricción ambiental a la operación de cada empresa o planta generadora para posteriormente vigilar su cumplimiento. El segundo queda bien ejemplificado, a

través, de la Planificación Integrada de Recursos, lo cual consiste en poner en el mismo nivel de decisión las opciones de oferta y demanda, con los costos tanto económicos como medioambientales. Desde el punto de vista del Despacho Económico de Carga (DEC), se tendría en cuenta, además del aspecto económico de la generación, los impactos ambientales resultantes de la operación de cada generador y a partir de estos criterios se establecería un orden de mérito, este aspecto también es relacionado con una planificación de la explotación multi-criterio o multi-objetivo.

II.3 Preocupación Ambiental Internacional

Es conocido el hecho del avance de los E.E.U.U. en materia de contaminación ambiental y el innovador sistema de control que se ha implantado a nivel federal y estatal para la contaminación atmosférica causada por las centrales térmicas en SO₂, NO_x y otros, lo cual puede servir de ejemplo a otros países. Parte de ello es mencionado en la introducción de este trabajo, por lo cual no se volverá a tratar aquí, sin embargo se menciona, en forma breve, otros casos que se estiman importantes.

El Caso Chileno

Una visión del estado de la preocupación ambiental en Chile se puede obtener de [19], donde uno de los principales precedentes de la aplicación rudimentaria de herramientas de mercado, lo fija el tema del control del PM en la Región Metropolitana de Santiago. En cuanto a la preocupación del sector eléctrico, este existe, tal vez impulsado por corrientes Europeas y la necesidad de contar con una imagen ambiental frente a la sensibilidad que empieza a tomar el tema. Una referencia importante guarda relación con la implantación de los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) y posterior certificación según las normas ISO 14.001 en varias instalaciones de Chile y Argentina por parte de Endesa. En efecto a septiembre del 2001, se habría iniciado el proceso de certificación de una central térmica de ciclo combinado (San Isidro), implantación de los SGA para posterior certificación en Pangué, térmica a carbón Tarapacá y gas ciclo abierto Taltal, habiéndose iniciado igual proceso en instalaciones de la Argentina.

El Caso Argentino

Argentina cuenta con un manual de gestión ambiental de centrales térmicas convencionales para la generación de energía eléctrica, el cual rige tanto el proceso de prefactibilidad, factibilidad y explotación de las mismas frente al marco institucional y normativo impuesto al sector eléctrico desde los 90's. El ENRE (Ente Nacional Regulador de la Electricidad) tiene entre sus facultades: velar por la protección de la propiedad, el medio ambiente y la seguridad pública en la construcción y operación de los sistemas de generación, transporte y distribución de electricidad. Cada central térmica privatizada esta obligada, entre otras restricciones ambientales a instalar equipos de medición de SO₂, NO_x y PM, para registro continuo de emisiones en el caso de unidades superiores a 50 (MW) y en el caso a menores de 50 (MW) realizar mediciones periódicas trimestrales, además de cumplir con niveles máximos de emisión por chimenea (mg/Nm³) de dichos contaminantes, según el combustible de que se trate.

El Caso de la Unión Europea

A junio del 2001 las acciones de la Unión Europea respecto a las condicionantes ambientales a la generación y planificación eléctrica, llevaron a la creación de un calendario de regulación aplicable al sector eléctrico con directivas que inciden directamente en la planificación energética, las cuales parten desde el año 2001 al 2018. Dichas directivas establecen valores límites y en su caso umbrales de alerta en concentración para SO₂, NO₂, PM y Pb, en distintas zonas, los cuales hacen que las instalaciones eléctricas estén supeditadas a los planes de actuación para el mantenimiento de la calidad ambiental de los países miembros, además se establecen metas objetivo a largo plazo para la concentración de ozono en el aire ambiente en el cual tienen gran influencia los NO₂. La reducción de emisiones contaminantes por parte de las centrales térmicas es obligada, a través, de la aplicación de Mejor Tecnología Disponible (MTD), definida como aquella viable desde el punto de vista técnico y económico, fijando con ello un Valor Límite de Emisión (VLE) de acuerdo a las condiciones geográficas y las características locales del medio ambiente, esto último hace que las inversiones a realizar en algunas instalaciones harán inviable su continuidad y por lo tanto, se deberá tener en cuenta la incorporación de nuevas instalaciones. A cada país miembro de la Unión Europea se le establece un techo máximo de emisión en SO₂, NO_x, VOC's y NH₃, además de límites individuales para instalaciones nuevas y ya existentes.

Capítulo III

Solución Propuesta

III.1 Formulación del Modelo

La formulación abarca el modelo para las ecuaciones de emisión, valorización de la externalidad ambiental bajo un SPET, racionamiento y modelos estocásticos de comportamiento de cada unidad generadora y la demanda horaria del sistema, además de la función objetivo del problema de optimización, formulada gracias a la teoría de Programación Lineal Convexa Separable [13] (anexo F) y expuesto de tres formas distintas.

Modelo y costos bajo un SPET

Bajo un mercado de emisiones las funciones de costo de interés corresponderán a las funciones de costo de combustible de cada unidad (lineales) y los costos que se generarán por sobrepasar el estándar de desempeño ambiental de 0.5 lb/Mbtu ([11, 15]), en el período de evaluación para las unidades infractoras, los cuales son: los costos generados por la transacción de permisos entre unidades, compra de permisos a un organismo fiscalizador y finalmente el costo por multa. Así mismo surge la necesidad de la valorización del costo social de la pérdida de energía o costo de racionamiento generado por la falta de capacidad o falla de ciertas unidades, el cual es común asumir en la planificación, bajo un generador, de costo de producción muy elevado o distintos valores dependiendo de la profundidad de la falla. En este trabajo se propone un valor único, correspondiente al máximo resultante de todos los costos incrementales de potencia de las unidades ficticias y reales, multiplicado por un cierto factor. El modelo uninodal resultante, se muestra en la figura III.1, donde se debe notar que la incorporación de la externalidad ambiental se ha hecho mediante la valorización de las emisiones de NO_x producidas (aproximadas por dos líneas rectas), de acuerdo a sus respectivas emisiones incrementales (ton/Mwh) y costos (\$/ton) del SPET, las cuales presentan una característica altamente no-lineal respecto a la potencia generada. Cada unidad generadora tendrá asociada 4 unidades ficticias, que a su vez estarán formadas por dos unidades adicionales, las cuales representan las variables separables de programación. El costo de racionamiento, queda representado por una unidad ficticia con su respectivo costo de la energía.

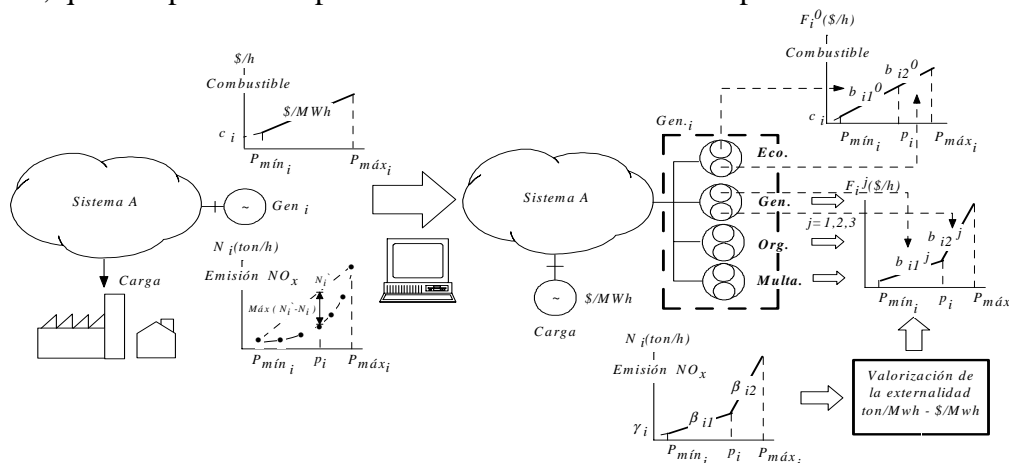


Figura III.1. Modelo del parque de generación en costos

En definitiva, para cada tipo de unidad ficticia asociada al SPET se tendrá las ecuaciones de costo y emisión como se esquematiza e indica a en la figura III.2.

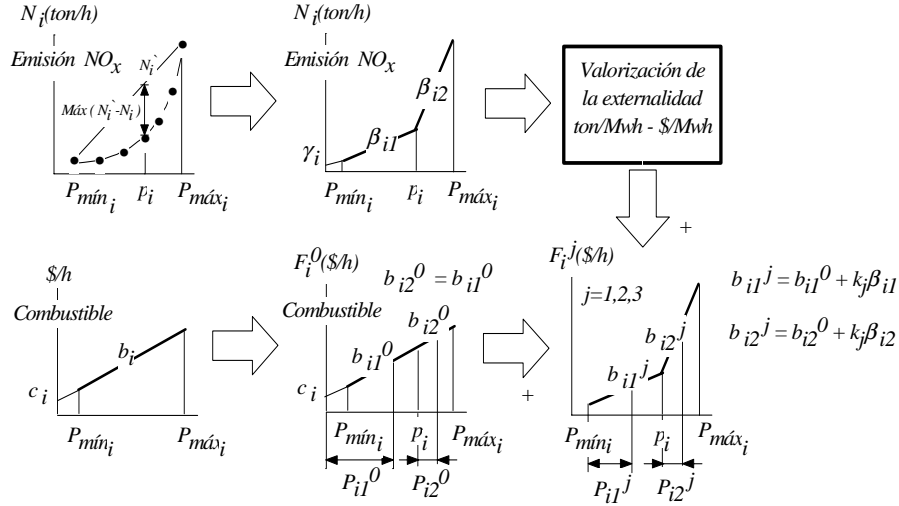


Figura III.2. Formación de costos de cada unidad ficticia “j”

Unidad Ecológica (Eco). La cual genera la energía correspondiente al nivel permitido de emisiones en el período T.

$$F_i^0 = b_{i1}^0 P_{i1}^0 + b_{i2}^0 P_{i2}^0 + c_i \quad [$/h]$$

$$N_i^0 = \beta_{i1} P_{i1}^0 + \beta_{i2} P_{i2}^0 + \gamma_i \quad [\text{ton/h}]$$

Unidad de Mercado (Gen). Esta adquiere permisos de emisión en el mercado entre generadores a un precio k_1 (\$/ton), de acuerdo al total de permisos de emisión disponibles en el período T.

$$F_i^1 = (b_{i1}^0 + k_1 \beta_{i1}) P_{i1}^1 + (b_{i2}^0 + k_1 \beta_{i2}) P_{i2}^1 \quad [$/h]$$

$$F_i^1 = b_{i1}^1 P_{i1}^1 + b_{i2}^1 P_{i2}^1 \quad [$/h]$$

$$N_i^1 = \beta_{i1} P_{i1}^1 + \beta_{i2} P_{i2}^1 \quad [\text{ton/h}]$$

Unidad de Fiscalización (Org). La cual adquiere permisos de emisión por sobre los permitidos a un precio k_2 (\$/ton), para el período T, de acuerdo a la flexibilidad de un organismo de control indirecto del mercado.

$$F_i^2 = (b_{i1}^0 + k_2 \beta_{i1}) P_{i1}^2 + (b_{i2}^0 + k_2 \beta_{i2}) P_{i2}^2 \quad [$/h]$$

$$F_i^2 = b_{i1}^2 P_{i1}^2 + b_{i2}^2 P_{i2}^2 \quad [$/h]$$

$$N_i^2 = \beta_{i1} P_{i1}^2 + \beta_{i2} P_{i2}^2 \quad [\text{ton/h}]$$

Unidad de Multa (Multa). La cual genera energía, de acuerdo a un costo de incumplimiento k_3 (\$/ton), debido a un déficit de permisos en el mercado y disponibles por el organismo de control.

$$F_i^3 = (b_{i1}^0 + k_3\beta_{i1})P_{i1}^3 + (b_{i2}^0 + k_3\beta_{i2})P_{i2}^3 \quad [$/h]$$

$$F_i^3 = b_{i1}^3P_{i1}^3 + b_{i2}^3P_{i2}^3 \quad [$/h]$$

$$N_i^3 = \beta_{i1}P_{i1}^3 + \beta_{i2}P_{i2}^3 \quad [ton/h]$$

La potencia real generada por cada unidad, esta dada entonces por:

$$P_i = \sum_{j=0}^3 (P_{i1}^j + P_{i2}^j)$$

Modelo probabilista

El modelo propuesto para las unidades generadoras de un parque térmico es un modelo de dos estados que describe el proceso markoviano de funcionamiento de dicha unidad (operación - falla), el cual esta basado en la indisponibilidad o tasa de salida forzada de cada unidad. La demanda o potencia media durante un intervalo de tiempo determinado, es usualmente incorporada a la planificación de largo plazo y mediano plazo en forma determinista, disminuyéndose, por esta vía, los recursos de simulación (altamente dependientes del número de escenarios a evaluar). En este proyecto, la incertidumbre en la demanda se modela como una distribución gaussiana para cada hora del horizonte de tiempo a considerar. Para lo anterior serán utilizadas las funciones de probabilidad acumulada (F) para obtener, mediante el método de la transformada inversa, el estado de las unidades (disponible e indisponible) y la demanda horaria del sistema (d_h). Lo previo, resulta del tiraje al azar, de acuerdo a una distribución uniforme, de las probabilidades x_g y x_d , como se muestra en la figura III.3.

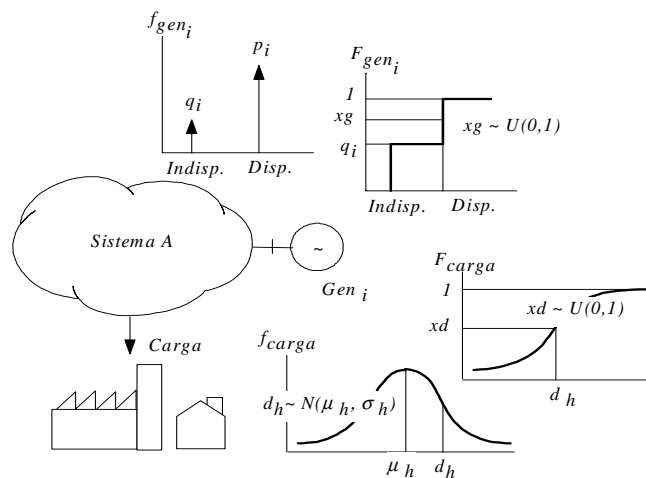


Figura III.3. Modelo probabilístico para la demanda y la disponibilidad de una unidad

El problema de optimización propuesto

El problema de programación matemática minimiza la suma de los costos de combustible, compra, multa y racionamiento para cada escenario en el período considerado, sujeto a la demanda a suplir y las desigualdades dadas por la cantidad de permisos asignados y posibles de adquirir. La expresión simplificada a minimizar es:

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T \left[\sum_{i=1}^{\text{ng}} \left[e_i(t) \sum_{j=0}^3 (b_{i1}^j P_{i1}^j(t) + b_{i2}^j P_{i2}^j(t)) \right] + b_r P_r(t) \right] \quad \text{F.O. I}$$

s/a

$$\sum_{i=1}^{\text{ng}} \left[e_i(t) \sum_{j=0}^3 (P_{i1}^j(t) + P_{i2}^j(t)) \right] + P_r(t) = d_h(t) \quad (1)$$

$$\sum_{j=0}^3 (P_{i1}^j(t) + P_{i2}^j(t)) \leq P_{\text{máx}_i} \quad (2)$$

$$\sum_{j=0}^3 P_{i1}^j(t) \leq p_i \quad (3)$$

$$0 \leq P_{i1}^j(t) \leq p_i - P_{\text{mín}_i}, j=1, 2, 3 \quad (4)$$

$$0 \leq P_{i2}^j(t) \leq P_{\text{máx}_i} - p_i, j=0, 1, 2, 3 \quad (5)$$

$$P_{\text{mín}_i} \leq P_{i1}^0(t) \leq p_i \quad (6)$$

$$0 \leq P_r(t) \leq d_h(t) \quad (7)$$

Permisos de emisión unidad ECO:

$$\sum_{t=1}^T [e_i(t) N_i^0(t) \Delta t] \leq NP_i \quad (8)$$

Compra de permisos unidad GEN:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{\text{ng}} \left[e_i(t) \sum_{j=0}^1 [N_i^j(t) \Delta t] \right] \leq \sum_{i=1}^{\text{ng}} NP_i \quad (9)$$

Emisión adicional unidad ORG:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{\text{ng}} [e_i(t) N_i^2(t) \Delta t] \leq K \sum_{i=1}^{\text{ng}} NP_i \quad (10)$$

De lo anterior, la ecuación (1) indica la igualdad tradicional del problema del DEC: la suma de las potencias generadas debe ser igual a la demanda horaria del sistema, donde $e_i(t)$ considera la falla u operación de una unidad generadora, lo que puede causar la falta de capacidad de generación y por tanto la incapacidad de cumplir con la demanda, siendo compensado con $P_r(t)$, a través de (7). Las ecuaciones (2), (3), (4), (5) y (6) son restricciones sobre las variables separables P_{i1}^j y P_{i2}^j , en sus valores mínimos, máximos y conjunto, válidas para una unidad “i” en operación. (8) es la restricción de emisión en el período para la unidad ficticia *Eco*, asociada a una unidad real “i”, cuyas emisiones máximas no pueden superar NP_i . Si una unidad supera las emisiones permitidas para el período, la porción sobrante puede ser adquirida en el mercado entre generadores con aquellas unidades que no hacen uso de sus permisos, dada su baja emisión, lo anterior se refleja matemáticamente en (9), mientras que (10) indica la adquisición de permisos a un organismo de fiscalización, el funcionamiento bajo multa no tiene ninguna restricción asociada al respecto, permitiendo con esto que todas las unidades tengan la posibilidad de generar su potencia máxima, evitando la subutilización de las mismas.

La asignación del número de permisos totales de emisión, en “toneladas” para el período de 24 horas es obtenida por (11), en donde el índice en consumo energético 0.5 lb/Mbtu es transformado a un índice en nivel de producción ton/Mwh, según el rendimiento (η) de cada unidad y su energía máxima generable durante el período. De esta forma resulta:

$$NP_i = 0.5 \frac{\text{lb}}{\text{MBtu}} \times f \frac{\text{MBtu} \times \text{ton}}{\text{Mwh}_{\text{in}} \times \text{lb}} \times \eta^{-1} \frac{\text{Mwh}_{\text{in}}}{\text{Mwh}_{\text{out}}} \times P_{\text{máx}_i} \times T \quad (11)$$

La minimización de los costos del SPET es lograda por la función objetivo anterior, notándose que $P_{i1}^j(t)$ y $P_{i2}^j(t)$, son variables separables y por tanto el uso de los permisos, la compra de permisos y pago de multa, puede ser realizada en ambos tramos de la ecuación de emisión al mismo tiempo, es decir el problema es resuelto, buscando en ambos tramos los niveles de potencia adecuados, resultando en un orden particular del tipo de programación utilizado, dado por b_{i1}^j y b_{i2}^j .

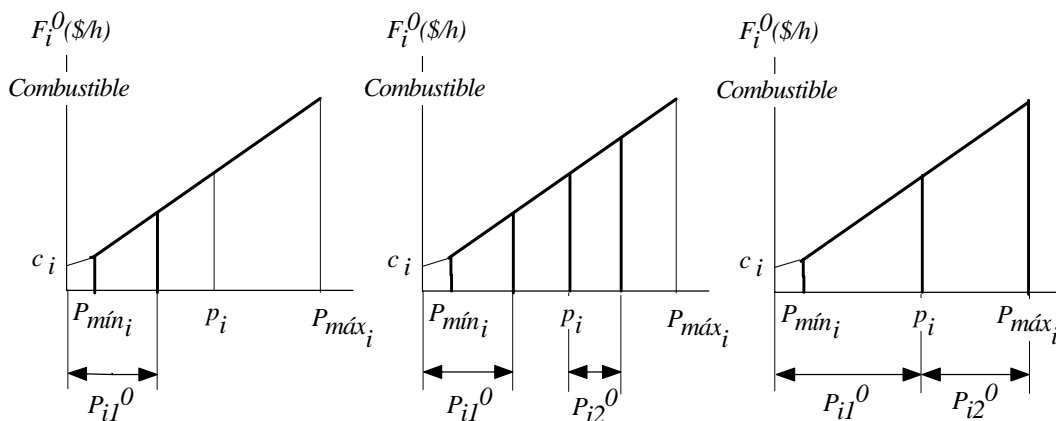


Figura III.4. Posibles casos de uso del permiso de emisión representado por las variables P_{i1}^0 y P_{i2}^0 en el costo de la unidad *Eco*

Para la unidad *Eco*, las variables $P_{i1}^0(t)$ y $P_{i2}^0(t)$, no exhiben diferencia alguna en el tratamiento de la función objetivo dado que b_{i1}^0 es igual a b_{i2}^0 , lo cual no ocurre en las demás unidades ficticias, esto causa que la potencia planificada para una hora cualquiera del período de optimización sea el

resultado del uso, compra y pago de multa discontinuos de permisos de emisión (Figura III.4) en el rango de potencia de un generador. Lo anterior no guarda ningún problema, desde el punto de vista de la planificación (programación de la potencia a despachar), dado el carácter centralizado que se presenta para el despacho, sin embargo, existe la posibilidad de que el uso del permiso se produzca en forma continua, dentro del rango de potencia, logrando un segundo enfoque para el funcionamiento del SPET. El motivo anterior sugiere la formulación de una segunda función objetivo, conservando las restricciones originales.

$$\text{Min} \sum_{t=1}^T \left[\sum_{i=1}^{ng} \left[e_i(t) \left[(w-1)b_{i2}^0 P_{i2}^0(t) + \sum_{j=0}^3 (b_{i1}^j P_{i1}^j(t) + b_{i2}^j P_{i2}^j(t)) \right] \right] + b_r P_r(t) \right] \quad \text{F.O. II}$$

El termino incorporado a la función objetivo original, tiene como finalidad incrementar virtualmente la pendiente del segundo tramo de la ecuación de costo de la unidad *Eco*, tal como se muestra en la figura III.5.

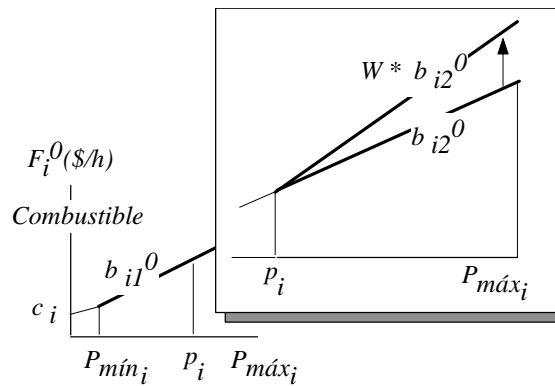


Figura III.5. Incremento virtual de la pendiente de costo. Unidad *Eco*

Esta segunda función objetivo no resulta en costos totales distintos para el sistema y cada generador respecto a la primera, pero sí en un reordenamiento de este último, como se podrá verificar en las aplicaciones del modelo propuesto, además el uso del permiso es continuo en el rango de potencia de generación (Figura III.6).

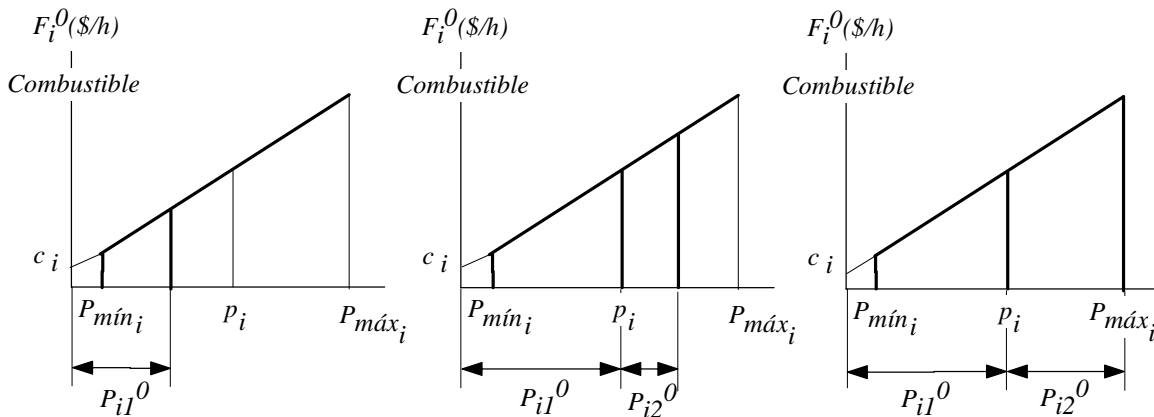
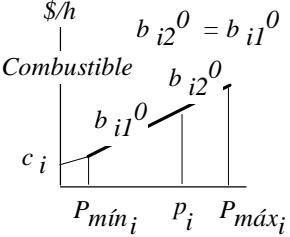
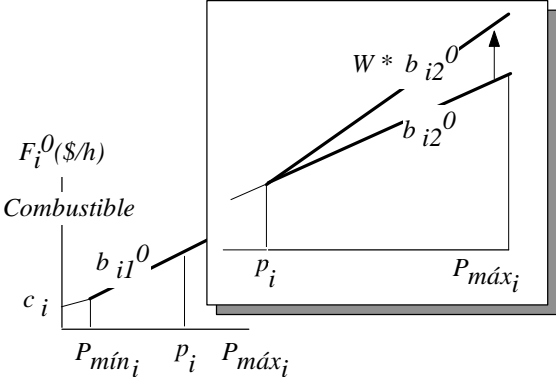
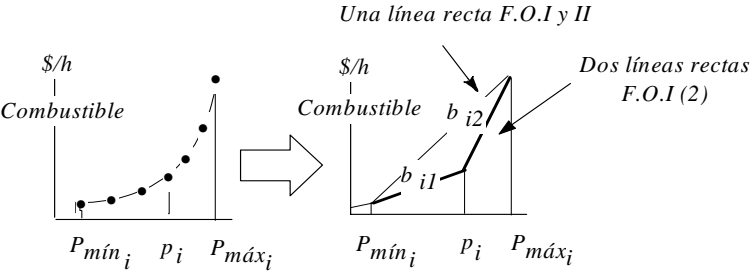


Figura III.6. Posibles casos de uso del permiso de emisión representado por las variables P_{i1}^0 y P_{i2}^0 en el costo de la unidad *Eco*

Si bien es cierto, la solución propuesta se muestra con la utilización de una línea recta en el modelo para la ecuación de costo de combustible, se puede extender a un modelo de dos líneas rectas aprovechando el punto de linealización en la ecuación de emisión, logrando con esto, el mismo efecto en el uso del permiso que la F.O.I, salvo diferencias claras en costos. Lo anterior crea una tercera alternativa de evaluación (F.O.I (2)).

Las diferentes variantes del problema de optimización a tratar, caracterizados por la forma en que se trata la ecuación de costo de combustible son los siguientes:

Tabla III.1. Variantes del Problema de Optimización

| Esquema | Nombre | Característica importante |
|---|-----------|--|
|  | F.O.I | Función de costo de combustible lineal. Uso discontinuo del permiso de emisión. |
|  | F.O.II | Modificación de la F.O.I. Función de costo de combustible lineal. Uso continuo del permiso de emisión. Ponderación únicamente del segundo tramo de la ecuación de costo en la unidad ECO, de acuerdo al punto de linealización de la emisión (p_i). |
|  | F.O.I (2) | No hay modificación de la F.O.I. Función de costo de combustible lineal a dos tramos, de acuerdo al punto de linealización de la emisión (p_i). Uso discontinuo del permiso de emisión. |

III.2 Hipótesis del Modelo

Las siguientes hipótesis justifican la formulación del problema propuesto:

- ☞ El parque de generación esta compuesto únicamente por unidades térmicas.
- ☞ Sólo están propensas a falla las unidades generadoras del sistema no existiendo restricciones o pérdidas de transmisión, i.e., se considera el sistema de generación concentrado en un punto o nodo en el cual esta conectada la carga (modelación uninodal).
- ☞ Dado que los costos de funcionamiento de una unidad térmica corresponden a costos de combustible y costos de operación y mantenimiento (O&M). En que estos últimos son aproximadamente el 5% del costo total, es posible despreciarlos y asumir en forma integra, que el valor del costo de funcionamiento es igual al costo del combustible.
- ☞ Un modelo lineal de costos de combustible (fuera de ser un buen modelo) y la aproximación mediante dos líneas rectas de las ecuaciones de emisión son la mejor representación práctica y factible dado el actual proceso de planificación Chileno.
- ☞ Las ecuaciones de emisión, función de la potencia generada, son obtenidas, a través, de mediciones o monitoreo en las chimeneas de las unidades generadoras.
- ☞ La curva de demanda horaria del sistema se asume predicha con nivel de incerteza, i.e., con un valor esperado y desviación, este último igual al 5% de su esperanza.

Respecto al modelo probabilístico para las unidades y demanda:

- ☞ Un proceso markoviano de dos estados describe en forma muy cercana a la realidad el comportamiento Operación-Falla de cada unidad.
- ☞ La demanda horaria del sistema queda bien modelada, a través, de una función de densidad de probabilidades de tipo normal o gaussiana, encontrando su justificación en el teorema del límite central.

En cuanto al funcionamiento del mercado de emisiones:

- ☞ Los permisos de emisión son asignados en tonelaje de contaminante y por un período de 24 horas.
- ☞ No existe un comportamiento aleatorio de compra y venta en el período, unidades con déficit de permisos, adquieren permisos disponibles en el mercado entre generadores, de no haber permisos disponibles, asumen los costos de generar por sobre el nivel permitido de emisión, comprando permisos al organismo fiscalizador o pagando multa. Así mismo, unidades con un exceso de permisos deben participar del mercado.
- ☞ La no operación de una unidad en algún instante del período, involucra la posibilidad de transacción de sus permisos asignados.

III.3 Resolución Computacional Asociada al Modelo

Dado que el enfoque de esta tesis es hacia el modelo propuesto y su aplicación, sólo se menciona a grandes rasgos el algoritmo para la obtención de los valores esperados y desviación estándar de las variables, además de las herramientas de optimización utilizadas en el Script de MATLAB 6.0 implementado.

Herramientas de Optimización

El problema de optimización propuesto (en sus tres variantes) es resuelto por medio de la función “linprog” disponible en las herramientas de optimización de MATLAB 6.0 (Optimization Toolbox), además se aprovecha las características de esparcimiento de las matrices de restricciones de igualdad y desigualdad, por medio de su declaración vía la función “sparse”, disminuyendo por esta vía la carga computacional que dichas matrices pudiesen producir, dados los sistemas de validación utilizados. A modo de ejemplo se presenta en la figura III.7 los espacios llenos en la matriz de restricciones, tanto con igualdades y desigualdades para el caso del sistema prueba de 3 unidades.

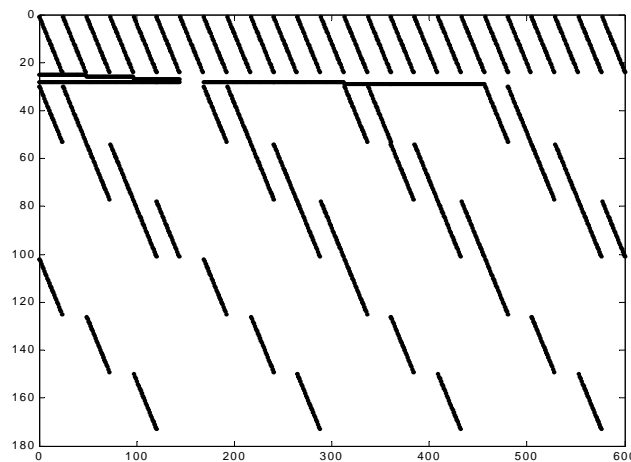


Figura III.7. Matriz de restricciones para el caso del sistema prueba de 3 unidades

Algoritmo de Solución

La utilización del método de simulación de Monte Carlo, requiere la aplicación recursiva de ecuaciones para el cálculo del primer y segundo momento de las variables resultantes de la optimización del escenario sorteado en cada iteración, a través de los cuales se obtiene el valor esperado y desviación estándar de dichas variables y las relacionadas con estas mismas. El proceso iterativo se detiene en un número determinado de escenarios (5000) que se han generado aleatoriamente, según lo indicado en el capítulo III de la tesis, este número es considerado satisfactorio para la obtención de buenos resultados según lo estudiado en [24]. El diagrama de flujo muestra en forma sencilla los pasos a seguir en el algoritmo de solución.

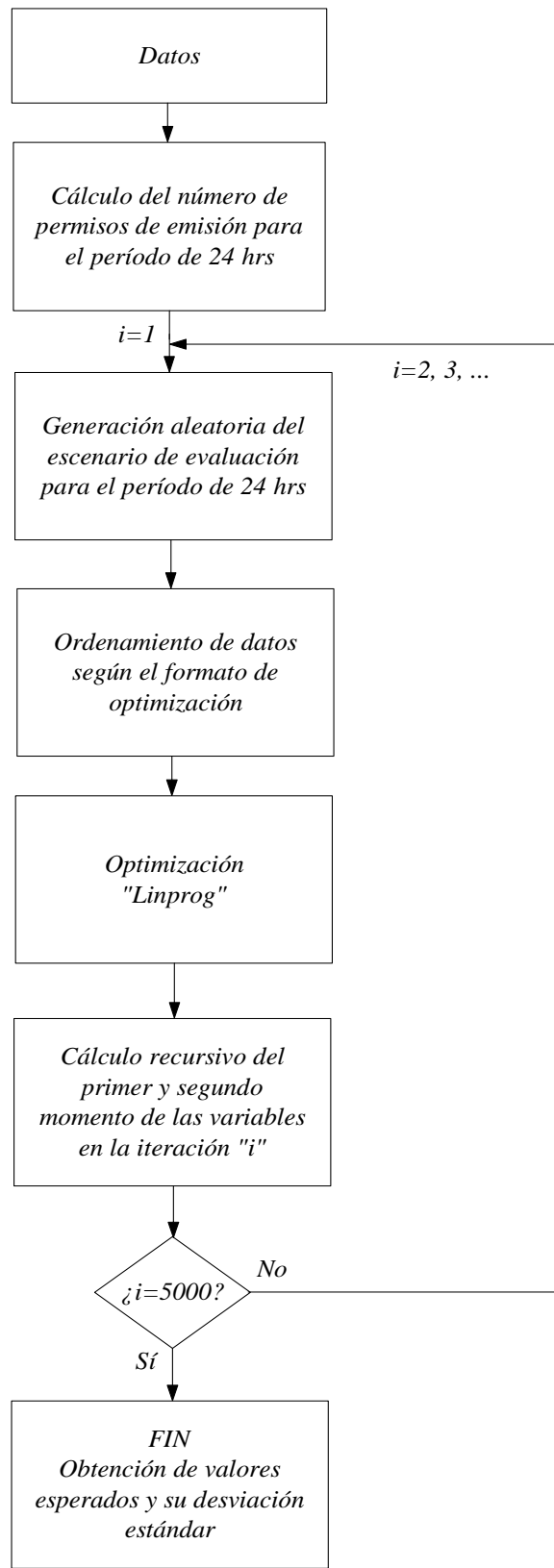


Figura III.8. Diagrama de Flujo

Capítulo IV

Aplicación

En esta sección se presentarán los resultados de aplicación del modelo propuesto para cada sistema de prueba, mostrando los diversos casos: determinista y estocástico bajo los enfoques que se ha planteado para la función objetivo ya antes mencionadas, la gran cantidad de información obtenida vía simulación imposibilita su presentación completa, por tal razón, solo se mostrarán los datos más importantes para los sistemas estudiados. En el caso particular del costo marginal de los sistemas, éste solo es indicado para la función objetivo I y I (2), donde es conocido que refleja la operación de las unidades ficticias del sistema [23, 25]. Para la función objetivo II, su determinación no puede obtenerse directamente de la minimización debido a la influencia de la ponderación realizada sobre éste, resultando en un costo marginal falso. Los costos y porcentaje de permisos del SPET corresponden a los siguientes:

Tabla IV.1. Valores del SPET

| Gen | Org | | Multa |
|-------|-------|-------|-------|
| K_1 | K_2 | K (%) | K_3 |
| 120 | 1000 | 60 | 2000 |

IV.1 Caso Sistema de 3 Unidades

La demanda horaria en sus valores determinista y esperado responde a los datos del Anexo E, en el caso estocástico esta presenta una desviación estándar de 5% respecto a su valor esperado.

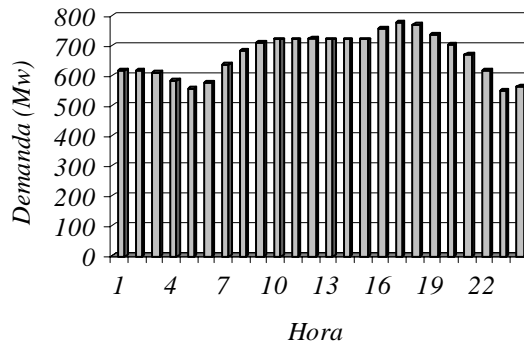


Figura IV.1. Demanda horaria (Determinista/Esperada)

Las emisiones resultantes y permisos de emisión en el periodo de 24 horas son:

Tabla IV.2. Emisiones en el período (Ton)

| Unidad | NP_i | Función Objetivo I | | | Función Objetivo II | | | Función Objetivo I (2) | | |
|--------|--------|--------------------|-------------|----------|---------------------|-------------|----------|------------------------|-------------|----------|
| | | Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | |
| | | | $E[E_m]$ | $S[E_m]$ | | $E[E_m]$ | $S[E_m]$ | | $E[E_m]$ | $S[E_m]$ |
| U_1 | 18.57 | 12.38 | 12.16 | 1.04 | 12.38 | 12.16 | 1.04 | 12.38 | 12.16 | 1.04 |
| U_2 | 14.86 | 12.25 | 10.40 | 0.89 | 12.25 | 10.40 | 0.89 | 12.25 | 10.40 | 0.89 |
| U_3 | 24.76 | 28.45 | 27.03 | 2.23 | 28.45 | 27.03 | 2.23 | 28.45 | 27.03 | 2.23 |

El costo marginal horario y racionamiento resultante, para los casos analizados es como se muestra a continuación:

Tabla IV.3. Costo marginal y racionamiento

| Hora | Costo Marginal (\$/Mwh) | | | | | | Racionamiento (Mw) | | | | | | | | |
|------|-------------------------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------------------|-------|--------|--------|-------|--------|-----------|-------|--------|
| | F.O.I | | | F.O.I (2) | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I (2) | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[L] | S[L] | | E[L] | S[L] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 14.01 | 86.77 | 122.69 | 14.14 | 87.14 | 123.26 | 0 | 36.46 | 91.29 | 0 | 36.46 | 91.29 | 0 | 36.46 | 91.29 |
| 2 | 14.01 | 89.87 | 124.29 | 14.14 | 90.26 | 124.87 | 0 | 35.64 | 89.52 | 0 | 35.64 | 89.52 | 0 | 35.64 | 89.52 |
| 3 | 13.63 | 81.76 | 119.80 | 13.52 | 82.09 | 120.37 | 0 | 32.41 | 86.50 | 0 | 32.41 | 86.50 | 0 | 32.41 | 86.50 |
| 4 | 13.63 | 63.12 | 106.41 | 13.52 | 63.32 | 106.94 | 0 | 27.68 | 80.59 | 0 | 27.68 | 80.59 | 0 | 27.68 | 80.59 |
| 5 | 13.63 | 50.12 | 93.81 | 13.52 | 50.24 | 94.27 | 0 | 24.10 | 74.44 | 0 | 24.10 | 74.44 | 0 | 24.10 | 74.44 |
| 6 | 13.63 | 55.95 | 99.83 | 13.52 | 56.11 | 100.32 | 0 | 25.31 | 77.05 | 0 | 25.31 | 77.05 | 0 | 25.31 | 77.05 |
| 7 | 14.01 | 97.34 | 127.86 | 14.14 | 97.79 | 128.44 | 0 | 41.36 | 97.79 | 0 | 41.36 | 97.79 | 0 | 41.36 | 97.79 |
| 8 | 14.01 | 104.95 | 130.40 | 14.14 | 105.43 | 130.99 | 0 | 54.16 | 109.93 | 0 | 54.16 | 109.93 | 0 | 54.16 | 109.93 |
| 9 | 16.64 | 105.27 | 129.88 | 16.57 | 105.72 | 130.49 | 0 | 62.45 | 117.99 | 0 | 62.45 | 117.99 | 0 | 62.45 | 117.99 |
| 10 | 16.64 | 109.56 | 131.23 | 16.57 | 110.01 | 131.86 | 0 | 69.53 | 125.60 | 0 | 69.53 | 125.60 | 0 | 69.53 | 125.60 |
| 11 | 16.64 | 107.99 | 130.70 | 16.57 | 108.44 | 131.32 | 0 | 66.78 | 121.96 | 0 | 66.78 | 121.96 | 0 | 66.78 | 121.96 |
| 12 | 16.64 | 110.71 | 131.57 | 16.57 | 111.17 | 132.20 | 0 | 71.20 | 128.38 | 0 | 71.20 | 128.38 | 0 | 71.20 | 128.38 |
| 13 | 16.64 | 108.26 | 130.80 | 16.57 | 108.72 | 131.42 | 0 | 67.84 | 125.65 | 0 | 67.84 | 125.65 | 0 | 67.84 | 125.65 |
| 14 | 16.64 | 109.57 | 131.23 | 16.57 | 110.02 | 131.85 | 0 | 68.90 | 123.81 | 0 | 68.90 | 123.81 | 0 | 68.90 | 123.81 |
| 15 | 16.64 | 108.55 | 130.89 | 16.57 | 109.00 | 131.52 | 0 | 68.58 | 125.78 | 0 | 68.58 | 125.78 | 0 | 68.58 | 125.78 |
| 16 | 16.64 | 126.01 | 135.39 | 16.57 | 126.54 | 136.03 | 0 | 80.64 | 136.71 | 0 | 80.64 | 136.71 | 0 | 80.64 | 136.71 |
| 17 | 16.64 | 155.82 | 138.33 | 16.73 | 156.51 | 138.98 | 0 | 89.05 | 143.71 | 0 | 89.05 | 143.71 | 0 | 89.05 | 143.71 |
| 18 | 16.64 | 145.02 | 137.99 | 16.73 | 145.65 | 138.64 | 0 | 86.85 | 142.78 | 0 | 86.85 | 142.78 | 0 | 86.85 | 142.78 |
| 19 | 16.64 | 115.01 | 132.73 | 16.57 | 115.49 | 133.36 | 0 | 73.05 | 129.92 | 0 | 73.05 | 129.92 | 0 | 73.05 | 129.92 |
| 20 | 16.64 | 107.06 | 130.71 | 16.57 | 107.52 | 131.32 | 0 | 62.87 | 119.60 | 0 | 62.87 | 119.60 | 0 | 62.87 | 119.60 |
| 21 | 14.01 | 103.45 | 130.06 | 14.14 | 103.93 | 130.64 | 0 | 50.24 | 106.53 | 0 | 50.24 | 106.53 | 0 | 50.24 | 106.53 |
| 22 | 14.01 | 88.01 | 123.34 | 14.14 | 88.38 | 123.92 | 0 | 34.54 | 86.59 | 0 | 34.54 | 86.59 | 0 | 34.54 | 86.59 |
| 23 | 13.63 | 48.58 | 92.04 | 13.52 | 48.69 | 92.50 | 0 | 23.78 | 73.52 | 0 | 23.78 | 73.52 | 0 | 23.78 | 73.52 |
| 24 | 13.63 | 52.21 | 96.03 | 13.52 | 52.34 | 96.50 | 0 | 24.69 | 74.00 | 0 | 24.69 | 74.00 | 0 | 24.69 | 74.00 |

La potencia total despachada por cada unidad generadora en los casos de la F.O.I y II, resulta:

Tabla IV.4. Potencia despachada (Mw)

| H | Unidad 1 | | | | | | Unidad 2 | | | | | | Unidad 3 | | | | | |
|----|----------|--------|-------|--------|--------|-------|----------|--------|-------|--------|--------|-------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 100.00 | 108.43 | 54.96 | 100.00 | 108.43 | 54.96 | 200.00 | 171.36 | 70.05 | 200.00 | 171.36 | 70.05 | 315.36 | 299.09 | 111.06 | 315.36 | 299.09 | 111.06 |
| 2 | 100.00 | 108.06 | 56.63 | 100.00 | 108.06 | 56.63 | 200.00 | 168.36 | 72.99 | 200.00 | 168.36 | 72.99 | 315.36 | 302.87 | 110.39 | 315.36 | 302.87 | 110.39 |
| 3 | 100.00 | 107.93 | 55.27 | 100.00 | 107.93 | 55.27 | 200.00 | 169.96 | 71.45 | 200.00 | 169.96 | 71.45 | 306.88 | 296.50 | 108.90 | 306.88 | 296.50 | 108.90 |
| 4 | 100.00 | 106.41 | 52.99 | 100.00 | 106.41 | 52.99 | 200.00 | 170.22 | 71.17 | 200.00 | 170.22 | 71.17 | 281.20 | 277.39 | 106.26 | 281.20 | 277.39 | 106.26 |
| 5 | 100.00 | 103.67 | 50.19 | 100.00 | 103.67 | 50.19 | 200.00 | 170.26 | 70.98 | 200.00 | 170.26 | 70.98 | 257.28 | 259.12 | 104.18 | 257.28 | 259.12 | 104.18 |
| 6 | 100.00 | 104.65 | 52.12 | 100.00 | 104.65 | 52.12 | 200.00 | 170.21 | 71.17 | 200.00 | 170.21 | 71.17 | 272.64 | 272.57 | 105.15 | 272.64 | 272.57 | 105.15 |
| 7 | 100.00 | 109.01 | 56.39 | 100.00 | 109.01 | 56.39 | 200.00 | 169.16 | 72.23 | 200.00 | 169.16 | 72.23 | 332.48 | 312.68 | 112.39 | 332.48 | 312.68 | 112.39 |
| 8 | 100.00 | 112.31 | 57.05 | 100.00 | 112.31 | 57.05 | 200.00 | 170.72 | 70.70 | 200.00 | 170.72 | 70.70 | 380.40 | 342.73 | 116.18 | 380.40 | 342.73 | 116.18 |
| 9 | 109.44 | 121.58 | 57.98 | 109.44 | 121.58 | 57.98 | 200.00 | 169.36 | 72.04 | 200.00 | 169.36 | 72.04 | 400.00 | 356.13 | 114.75 | 400.00 | 356.13 | 114.75 |
| 10 | 118.00 | 125.93 | 59.47 | 118.00 | 125.93 | 59.47 | 200.00 | 169.92 | 71.49 | 200.00 | 169.92 | 71.49 | 400.00 | 353.21 | 121.85 | 400.00 | 353.21 | 121.85 |
| 11 | 118.00 | 125.16 | 59.18 | 118.00 | 125.16 | 59.18 | 200.00 | 169.96 | 71.45 | 200.00 | 169.96 | 71.45 | 400.00 | 355.82 | 118.20 | 400.00 | 355.82 | 118.20 |
| 12 | 121.36 | 126.91 | 60.00 | 121.36 | 126.91 | 60.00 | 200.00 | 169.64 | 71.77 | 200.00 | 169.64 | 71.77 | 400.00 | 353.40 | 122.14 | 400.00 | 353.40 | 122.14 |
| 13 | 118.00 | 126.45 | 58.92 | 118.00 | 126.45 | 58.92 | 200.00 | 169.24 | 72.15 | 200.00 | 169.24 | 72.15 | 400.00 | 354.66 | 119.54 | 400.00 | 354.66 | 119.54 |
| 14 | 118.00 | 126.88 | 58.75 | 118.00 | 126.88 | 58.75 | 200.00 | 169.32 | 72.07 | 200.00 | 169.32 | 72.07 | 400.00 | 353.06 | 121.97 | 400.00 | 353.06 | 121.97 |
| 15 | 118.00 | 127.21 | 58.26 | 118.00 | 127.21 | 58.26 | 200.00 | 169.48 | 71.92 | 200.00 | 169.48 | 71.92 | 400.00 | 352.97 | 121.71 | 400.00 | 352.97 | 121.71 |
| 16 | 152.16 | 143.39 | 62.41 | 152.16 | 143.39 | 62.41 | 200.00 | 170.36 | 71.06 | 200.00 | 170.36 | 71.06 | 400.00 | 357.84 | 121.37 | 400.00 | 357.84 | 121.37 |
| 17 | 176.80 | 156.37 | 62.85 | 176.80 | 156.37 | 62.85 | 200.00 | 170.16 | 71.26 | 200.00 | 170.16 | 71.26 | 400.00 | 361.49 | 117.68 | 400.00 | 361.49 | 117.68 |
| 18 | 169.20 | 152.06 | 63.20 | 169.20 | 152.06 | 63.20 | 200.00 | 170.60 | 70.82 | 200.00 | 170.60 | 70.82 | 400.00 | 359.84 | 119.71 | 400.00 | 359.84 | 119.71 |
| 19 | 135.04 | 133.87 | 61.07 | 135.04 | 133.87 | 61.07 | 200.00 | 170.28 | 71.14 | 200.00 | 170.28 | 71.14 | 400.00 | 358.57 | 118.50 | 400.00 | 358.57 | 118.50 |
| 20 | 100.88 | 118.17 | 58.25 | 100.88 | 118.17 | 58.25 | 200.00 | 170.56 | 70.86 | 200.00 | 170.56 | 70.86 | 400.00 | 349.52 | 120.35 | 400.00 | 349.52 | 120.35 |
| 21 | 100.00 | 110.88 | 56.32 | 100.00 | 110.88 | 56.32 | 200.00 | 170.12 | 71.30 | 200.00 | 170.12 | 71.30 | 366.72 | 336.34 | 114.97 | 366.72 | 336.34 | 114.97 |
| 22 | 100.00 | 108.31 | 55.88 | 100.00 | 108.31 | 55.88 | 200.00 | 170.32 | 71.10 | 200.00 | 170.32 | 71.10 | 315.36 | 302.04 | 110.05 | 315.36 | 302.04 | 110.05 |
| 23 | 100.00 | 102.93 | 49.66 | 100.00 | 102.93 | 49.66 | 200.00 | 166.94 | 74.02 | 200.00 | 166.94 | 74.02 | 250.40 | 256.79 | 103.96 | 250.40 | 256.79 | 103.96 |
| 24 | 100.00 | 104.97 | 50.94 | 100.00 | 104.97 | 50.94 | 200.00 | 169.62 | 71.71 | 200.00 | 169.62 | 71.71 | 264.16 | 264.28 | 104.75 | 264.16 | 264.28 | 104.75 |

En el caso de la F.O.I (2), es como se muestra a continuación:

Tabla IV.5. Potencia despachada (Mw) F.O.I (2)

| Hora | Unidad 1 | | | Unidad 2 | | | Unidad 3 | | |
|------|----------|--------|-------|----------|--------|-------|----------|--------|--------|
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 100.00 | 108.43 | 54.96 | 200.00 | 171.36 | 70.05 | 315.36 | 299.09 | 111.06 |
| 2 | 100.00 | 108.06 | 56.63 | 200.00 | 168.36 | 72.99 | 315.36 | 302.87 | 110.39 |
| 3 | 100.00 | 107.93 | 55.27 | 200.00 | 169.96 | 71.45 | 306.88 | 296.50 | 108.90 |
| 4 | 100.00 | 106.41 | 52.99 | 200.00 | 170.22 | 71.17 | 281.20 | 277.39 | 106.26 |
| 5 | 100.00 | 103.67 | 50.19 | 200.00 | 170.26 | 70.98 | 257.28 | 259.12 | 104.18 |
| 6 | 100.00 | 104.65 | 52.12 | 200.00 | 170.21 | 71.17 | 272.64 | 272.57 | 105.15 |
| 7 | 100.00 | 109.01 | 56.39 | 200.00 | 169.16 | 72.23 | 332.48 | 312.68 | 112.39 |
| 8 | 100.00 | 112.31 | 57.05 | 200.00 | 170.72 | 70.70 | 380.40 | 342.73 | 116.18 |
| 9 | 109.44 | 121.58 | 57.98 | 200.00 | 169.36 | 72.04 | 400.00 | 356.13 | 114.75 |
| 10 | 118.00 | 125.93 | 59.47 | 200.00 | 169.92 | 71.49 | 400.00 | 353.21 | 121.85 |
| 11 | 118.00 | 125.16 | 59.18 | 200.00 | 169.96 | 71.45 | 400.00 | 355.82 | 118.20 |
| 12 | 121.36 | 126.91 | 60.00 | 200.00 | 169.64 | 71.77 | 400.00 | 353.40 | 122.14 |
| 13 | 118.00 | 126.45 | 58.92 | 200.00 | 169.24 | 72.15 | 400.00 | 354.66 | 119.54 |
| 14 | 118.00 | 126.88 | 58.75 | 200.00 | 169.32 | 72.07 | 400.00 | 353.06 | 121.97 |
| 15 | 118.00 | 127.21 | 58.26 | 200.00 | 169.48 | 71.92 | 400.00 | 352.97 | 121.71 |
| 16 | 152.16 | 143.39 | 62.41 | 200.00 | 170.36 | 71.06 | 400.00 | 357.84 | 121.37 |
| 17 | 176.80 | 156.37 | 62.85 | 200.00 | 170.16 | 71.26 | 400.00 | 361.49 | 117.68 |
| 18 | 169.20 | 152.06 | 63.20 | 200.00 | 170.60 | 70.82 | 400.00 | 359.84 | 119.71 |
| 19 | 135.04 | 133.87 | 61.07 | 200.00 | 170.28 | 71.14 | 400.00 | 358.57 | 118.50 |
| 20 | 100.88 | 118.17 | 58.25 | 200.00 | 170.56 | 70.86 | 400.00 | 349.52 | 120.35 |
| 21 | 100.00 | 110.88 | 56.32 | 200.00 | 170.12 | 71.30 | 366.72 | 336.34 | 114.97 |
| 22 | 100.00 | 108.31 | 55.88 | 200.00 | 170.32 | 71.10 | 315.36 | 302.04 | 110.05 |
| 23 | 100.00 | 102.93 | 49.66 | 200.00 | 166.94 | 74.02 | 250.40 | 256.79 | 103.96 |
| 24 | 100.00 | 104.97 | 50.94 | 200.00 | 169.62 | 71.71 | 264.16 | 264.28 | 104.75 |

En la siguiente tabla se presenta para las horas de máxima y mínima demanda (hora 17 y 23) el detalle de potencia despachada por cada unidad ficticia asociada a una unidad real.

Tabla IV.6. Potencia despachada (Mw)

| Unidad | | Hora 17 | | | | | | | | | Hora 23 | | | | | | | | | |
|----------------|------------------------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|-------|
| | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I (2) | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I (2) | | | |
| | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | |
| U ₁ | E | P ₁₁ ⁰ | 139.17 | 124.25 | 48.10 | 155.56 | 132.65 | 49.70 | 155.56 | 132.65 | 49.70 | 100.00 | 95.65 | 39.42 | 100.00 | 98.11 | 41.70 | 100.00 | 98.11 | 41.70 |
| | | P ₁₂ ⁰ | 37.63 | 32.12 | 15.74 | 21.24 | 23.72 | 19.84 | 21.24 | 23.72 | 19.84 | 0.00 | 7.28 | 15.03 | 0.00 | 4.82 | 13.18 | 0.00 | 4.82 | 13.18 |
| | G | P ₁₁ ¹ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | P ₁₂ ¹ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | O | P ₁₁ ² | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | P ₁₂ ² | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| M | P ₁₁ ³ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | P ₁₂ ³ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| U ₂ | E | P ₂₁ ⁰ | 155.56 | 132.35 | 55.42 | 155.56 | 132.35 | 55.42 | 155.56 | 132.35 | 55.42 | 155.56 | 129.86 | 57.57 | 155.56 | 130.02 | 57.63 | 155.56 | 130.02 | 57.63 |
| | | P ₂₂ ⁰ | 44.44 | 37.81 | 15.83 | 44.44 | 37.81 | 15.83 | 44.44 | 37.81 | 15.83 | 44.44 | 37.08 | 16.45 | 44.44 | 36.92 | 16.48 | 44.44 | 36.92 | 16.48 |
| | G | P ₂₁ ¹ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | P ₂₂ ¹ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | O | P ₂₁ ² | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | P ₂₂ ² | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| M | P ₂₁ ³ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | P ₂₂ ³ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| U ₃ | E | P ₃₁ ⁰ | 290.68 | 269.23 | 88.04 | 311.11 | 281.31 | 91.56 | 290.75 | 269.22 | 88.04 | 240.57 | 230.83 | 82.00 | 250.40 | 240.22 | 85.95 | 239.18 | 232.66 | 82.36 |
| | | P ₃₂ ⁰ | 75.49 | 71.22 | 24.12 | 56.09 | 61.87 | 24.04 | 75.57 | 71.23 | 24.15 | 0.00 | 16.34 | 28.60 | 0.00 | 11.91 | 24.38 | 0.00 | 14.30 | 28.46 |
| | G | P ₃₁ ¹ | 20.43 | 12.04 | 9.29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 20.36 | 12.09 | 9.32 | 9.83 | 7.32 | 7.48 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.22 | 7.57 | 7.56 |
| | | P ₃₂ ¹ | 13.40 | 8.99 | 7.14 | 32.80 | 18.32 | 14.37 | 13.32 | 8.95 | 7.18 | 0.00 | 2.31 | 5.40 | 0.00 | 4.66 | 10.85 | 0.00 | 2.27 | 5.37 |
| | O | P ₃₁ ² | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | P ₃₂ ² | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| M | P ₃₁ ³ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | P ₃₂ ³ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |

El costo en que ha incurrido cada unidad ficticia en el periodo de análisis es como se presenta a continuación. Aquellas unidades reales que no requirieron de permisos adicionales a los ya otorgados, reflejan en forma integra el costo de combustible por la potencia despachada, las demás unidades poseen un componente de costo de combustible y permiso adquirido, este último mostrado en el ítem “permisos” de la tabla.

Tabla IV.7. Costo en el período de estudio (\$)

| Unidad | | Función Objetivo I | | Función Objetivo II | | Función Objetivo I (2) | |
|----------------|----------|--------------------|-------------|---------------------|-------------|------------------------|-------------|
| | | Determinista | Estocástico | Determinista | Estocástico | Determinista | Estocástico |
| | | | E[F] | | E[F] | | E[F] |
| U ₁ | Eco | 64273.20 | 64013.78 | 64273.20 | 64013.78 | 64253.83 | 64000.62 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₂ | Eco | 65472.00 | 55599.32 | 65472.00 | 55599.32 | 65471.48 | 55598.85 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₃ | Eco | 108442.13 | 101955.80 | 110636.26 | 103240.09 | 108367.02 | 101876.10 |
| | Gen | 8548.13 | 5525.47 | 6354.00 | 4241.18 | 8524.29 | 5536.45 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Permisos | 443.39 | 295.95 | 443.39 | 295.95 | 443.39 | 295.95 |

El costo total del sistema para el horizonte de tiempo:

Tabla IV.8. Costo total en el período de estudio (\$)

| Función Objetivo I | | | Función Objetivo II | | | Función Objetivo I (2) | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | |
| | E[F _i] | S[F _i] | | E[F _i] | S[F _i] | | E[F _i] | S[F _i] |
| 246735.46 | 601854.43 | 149065.96 | 246735.46 | 601854.43 | 149065.96 | 246616.62 | 603471.99 | 149782.07 |

IV.2 Caso Sistema de 5 Unidades

La demanda horaria en sus valores determinista y esperado responde a los datos del Anexo E, en el caso estocástico esta presenta una desviación estándar de 5% respecto a su valor esperado.

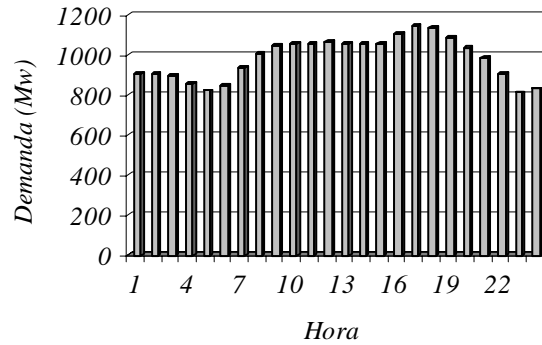


Figura IV.2. Demanda horaria (Determinista/Esperada)

El costo marginal horario y racionamiento resultante, para los casos analizados es como se muestra a continuación:

Tabla IV.9. Costo marginal y racionamiento

| Hora | Costo Marginal (\$/Mwh) | | | | | | Racionamiento (Mw) | | | | | | | | |
|------|-------------------------|--------|-------|-----------|--------|--------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| | F.O.I | | | F.O.I (2) | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I (2) | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[L] | S[L] | | E[L] | S[L] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 13.30 | 63.26 | 83.03 | 11.62 | 73.68 | 100.59 | 0.00 | 46.14 | 109.92 | 0.00 | 46.14 | 109.92 | 0.00 | 46.14 | 109.92 |
| 2 | 13.30 | 64.36 | 83.60 | 11.62 | 75.00 | 101.28 | 0.00 | 43.11 | 104.20 | 0.00 | 43.11 | 104.20 | 0.00 | 43.11 | 104.20 |
| 3 | 13.30 | 59.37 | 80.85 | 11.62 | 68.79 | 98.05 | 0.00 | 37.80 | 96.63 | 0.00 | 37.80 | 96.63 | 0.00 | 37.80 | 96.63 |
| 4 | 13.30 | 49.52 | 74.14 | 11.62 | 56.57 | 90.05 | 0.00 | 31.50 | 89.98 | 0.00 | 31.50 | 89.98 | 0.00 | 31.50 | 89.98 |
| 5 | 13.30 | 43.00 | 68.55 | 11.28 | 48.59 | 83.30 | 0.00 | 24.11 | 76.21 | 0.00 | 24.11 | 76.21 | 0.00 | 24.11 | 76.21 |
| 6 | 13.30 | 47.63 | 72.63 | 11.62 | 54.23 | 88.24 | 0.00 | 29.51 | 89.27 | 0.00 | 29.51 | 89.27 | 0.00 | 29.51 | 89.27 |
| 7 | 13.30 | 68.97 | 85.76 | 11.62 | 81.02 | 103.62 | 0.00 | 50.51 | 112.70 | 0.00 | 50.51 | 112.70 | 0.00 | 50.51 | 112.70 |
| 8 | 14.00 | 76.60 | 88.57 | 15.83 | 91.13 | 106.37 | 0.00 | 74.91 | 140.87 | 0.00 | 74.91 | 140.87 | 0.00 | 74.91 | 140.87 |
| 9 | 14.00 | 80.95 | 89.91 | 15.83 | 96.65 | 107.75 | 0.00 | 89.77 | 156.63 | 0.00 | 89.77 | 156.63 | 0.00 | 89.77 | 156.63 |
| 10 | 14.00 | 82.61 | 90.38 | 15.83 | 98.76 | 108.22 | 0.00 | 91.83 | 157.86 | 0.00 | 91.83 | 157.86 | 0.00 | 91.83 | 157.86 |
| 11 | 14.00 | 85.08 | 91.04 | 15.83 | 101.73 | 109.00 | 0.00 | 95.54 | 159.60 | 0.00 | 95.54 | 159.60 | 0.00 | 95.54 | 159.60 |
| 12 | 14.00 | 85.72 | 91.19 | 15.83 | 102.52 | 109.17 | 0.00 | 94.90 | 157.85 | 0.00 | 94.90 | 157.85 | 0.00 | 94.90 | 157.85 |
| 13 | 14.00 | 84.00 | 90.75 | 15.83 | 100.43 | 108.67 | 0.00 | 91.17 | 153.41 | 0.00 | 91.17 | 153.41 | 0.00 | 91.17 | 153.41 |
| 14 | 14.00 | 79.76 | 89.54 | 15.83 | 95.35 | 107.21 | 0.00 | 86.93 | 155.63 | 0.00 | 86.93 | 155.63 | 0.00 | 86.93 | 155.63 |
| 15 | 14.00 | 82.27 | 90.28 | 15.83 | 98.36 | 108.10 | 0.00 | 89.35 | 155.15 | 0.00 | 89.35 | 155.15 | 0.00 | 89.35 | 155.15 |
| 16 | 14.00 | 101.16 | 93.57 | 17.96 | 121.30 | 111.74 | 0.00 | 114.27 | 177.46 | 0.00 | 114.27 | 177.46 | 0.00 | 114.27 | 177.46 |
| 17 | 14.00 | 123.94 | 92.41 | 17.96 | 148.64 | 110.19 | 0.00 | 132.67 | 184.44 | 0.00 | 132.67 | 184.44 | 0.00 | 132.67 | 184.44 |
| 18 | 14.00 | 116.55 | 93.40 | 17.96 | 139.79 | 111.40 | 0.00 | 126.32 | 183.83 | 0.00 | 126.32 | 183.83 | 0.00 | 126.32 | 183.83 |
| 19 | 14.00 | 90.16 | 92.14 | 15.83 | 107.99 | 110.18 | 0.00 | 100.35 | 164.40 | 0.00 | 100.35 | 164.40 | 0.00 | 100.35 | 164.40 |
| 20 | 14.00 | 79.24 | 89.40 | 15.83 | 94.52 | 107.20 | 0.00 | 85.71 | 151.99 | 0.00 | 85.71 | 151.99 | 0.00 | 85.71 | 151.99 |
| 21 | 14.00 | 74.63 | 87.92 | 15.83 | 88.57 | 105.72 | 0.00 | 65.88 | 129.13 | 0.00 | 65.88 | 129.13 | 0.00 | 65.88 | 129.13 |
| 22 | 13.30 | 64.24 | 83.54 | 11.62 | 74.84 | 101.23 | 0.00 | 42.68 | 103.60 | 0.00 | 42.68 | 103.60 | 0.00 | 42.68 | 103.60 |
| 23 | 13.30 | 41.12 | 66.73 | 11.28 | 46.14 | 81.15 | 0.00 | 23.13 | 77.69 | 0.00 | 23.13 | 77.69 | 0.00 | 23.13 | 77.69 |
| 24 | 13.30 | 43.56 | 69.08 | 11.28 | 49.23 | 83.96 | 0.00 | 25.37 | 80.01 | 0.00 | 25.37 | 80.01 | 0.00 | 25.37 | 80.01 |

La potencia total despachada por cada unidad generadora en los casos de la F.O.I y II, resulta:

Tabla IV.10. Potencia despachada (Mw)

| H | Unidad 1 | | | | | | Unidad 2 | | | | | | Unidad 3 | | | | | |
|----|----------|-------|-------|--------|-------|-------|----------|--------|-------|--------|--------|-------|----------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 100.00 | 90.00 | 30.00 | 100.00 | 90.00 | 30.00 | 300.00 | 267.00 | 93.87 | 300.00 | 267.00 | 93.87 | 50.00 | 42.70 | 17.66 | 50.00 | 42.70 | 17.66 |
| 2 | 100.00 | 90.22 | 29.70 | 100.00 | 90.22 | 29.70 | 300.00 | 264.84 | 96.50 | 300.00 | 264.84 | 96.50 | 50.00 | 42.59 | 17.76 | 50.00 | 42.59 | 17.76 |
| 3 | 100.00 | 90.16 | 29.79 | 100.00 | 90.16 | 29.79 | 300.00 | 263.82 | 97.70 | 300.00 | 263.82 | 97.70 | 50.00 | 42.56 | 17.79 | 50.00 | 42.56 | 17.79 |
| 4 | 100.00 | 89.88 | 30.16 | 100.00 | 89.88 | 30.16 | 300.00 | 264.90 | 96.43 | 300.00 | 264.90 | 96.43 | 50.00 | 42.29 | 18.06 | 50.00 | 42.29 | 18.06 |
| 5 | 100.00 | 89.08 | 31.19 | 100.00 | 89.08 | 31.19 | 300.00 | 264.66 | 96.71 | 300.00 | 264.66 | 96.71 | 50.00 | 42.80 | 17.55 | 50.00 | 42.80 | 17.55 |
| 6 | 100.00 | 89.52 | 30.63 | 100.00 | 89.52 | 30.63 | 300.00 | 263.04 | 98.60 | 300.00 | 263.04 | 98.60 | 50.00 | 42.54 | 17.81 | 50.00 | 42.54 | 17.81 |
| 7 | 100.00 | 88.68 | 31.68 | 100.00 | 88.68 | 31.68 | 300.00 | 264.84 | 96.50 | 300.00 | 264.84 | 96.50 | 50.00 | 42.60 | 17.75 | 50.00 | 42.60 | 17.75 |
| 8 | 100.00 | 89.64 | 30.47 | 100.00 | 89.64 | 30.47 | 300.00 | 263.64 | 97.91 | 300.00 | 263.64 | 97.91 | 50.00 | 42.46 | 17.89 | 50.00 | 42.46 | 17.89 |
| 9 | 100.00 | 90.08 | 29.89 | 100.00 | 90.08 | 29.89 | 300.00 | 262.86 | 98.81 | 300.00 | 262.86 | 98.81 | 50.00 | 42.91 | 17.44 | 50.00 | 42.91 | 17.44 |
| 10 | 100.00 | 89.88 | 30.16 | 100.00 | 89.88 | 30.16 | 300.00 | 262.98 | 98.67 | 300.00 | 262.98 | 98.67 | 50.00 | 42.44 | 17.91 | 50.00 | 42.44 | 17.91 |
| 11 | 100.00 | 90.08 | 29.89 | 100.00 | 90.08 | 29.89 | 300.00 | 265.14 | 96.14 | 300.00 | 265.14 | 96.14 | 50.00 | 42.38 | 17.97 | 50.00 | 42.38 | 17.97 |
| 12 | 100.00 | 90.46 | 29.38 | 100.00 | 90.46 | 29.38 | 300.00 | 263.88 | 97.63 | 300.00 | 263.88 | 97.63 | 50.00 | 42.80 | 17.55 | 50.00 | 42.80 | 17.55 |
| 13 | 100.00 | 89.70 | 30.40 | 100.00 | 89.70 | 30.40 | 300.00 | 265.14 | 96.14 | 300.00 | 265.14 | 96.14 | 50.00 | 42.50 | 17.85 | 50.00 | 42.50 | 17.85 |
| 14 | 100.00 | 90.26 | 29.65 | 100.00 | 90.26 | 29.65 | 300.00 | 264.54 | 96.85 | 300.00 | 264.54 | 96.85 | 50.00 | 42.10 | 18.24 | 50.00 | 42.10 | 18.24 |
| 15 | 100.00 | 89.86 | 30.19 | 100.00 | 89.86 | 30.19 | 300.00 | 264.54 | 96.85 | 300.00 | 264.54 | 96.85 | 50.00 | 42.84 | 17.51 | 50.00 | 42.84 | 17.51 |
| 16 | 100.00 | 90.54 | 29.27 | 100.00 | 90.54 | 29.27 | 300.00 | 262.26 | 99.49 | 300.00 | 262.26 | 99.49 | 50.00 | 42.61 | 17.75 | 50.00 | 42.61 | 17.75 |
| 17 | 100.00 | 90.10 | 29.87 | 100.00 | 90.10 | 29.87 | 300.00 | 264.54 | 96.85 | 300.00 | 264.54 | 96.85 | 50.00 | 42.50 | 17.85 | 50.00 | 42.50 | 17.85 |
| 18 | 100.00 | 90.14 | 29.81 | 100.00 | 90.14 | 29.81 | 300.00 | 263.94 | 97.56 | 300.00 | 263.94 | 97.56 | 50.00 | 42.16 | 18.18 | 50.00 | 42.16 | 18.18 |
| 19 | 100.00 | 90.16 | 29.79 | 100.00 | 90.16 | 29.79 | 300.00 | 265.14 | 96.14 | 300.00 | 265.14 | 96.14 | 50.00 | 42.10 | 18.24 | 50.00 | 42.10 | 18.24 |
| 20 | 100.00 | 89.38 | 30.81 | 100.00 | 89.38 | 30.81 | 300.00 | 265.92 | 95.20 | 300.00 | 265.92 | 95.20 | 50.00 | 42.21 | 18.13 | 50.00 | 42.21 | 18.13 |
| 21 | 100.00 | 90.08 | 29.89 | 100.00 | 90.08 | 29.89 | 300.00 | 265.44 | 95.78 | 300.00 | 265.44 | 95.78 | 50.00 | 42.50 | 17.85 | 50.00 | 42.50 | 17.85 |
| 22 | 100.00 | 89.96 | 30.05 | 100.00 | 89.96 | 30.05 | 300.00 | 263.88 | 97.63 | 300.00 | 263.88 | 97.63 | 50.00 | 42.72 | 17.64 | 50.00 | 42.72 | 17.64 |
| 23 | 100.00 | 90.00 | 30.00 | 100.00 | 90.00 | 30.00 | 300.00 | 265.68 | 95.49 | 300.00 | 265.68 | 95.49 | 50.00 | 42.48 | 17.87 | 50.00 | 42.48 | 17.87 |
| 24 | 100.00 | 88.96 | 31.34 | 100.00 | 88.96 | 31.34 | 300.00 | 265.32 | 95.92 | 300.00 | 265.32 | 95.92 | 50.00 | 42.81 | 17.54 | 50.00 | 42.81 | 17.54 |

Tabla IV.11. Potencia despachada (Mw). (continuación)

| Hora | Unidad 4 | | | | | | Unidad 5 | | | | | |
|------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|-------|--------|--------|-------|
| | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 385.01 | 355.89 | 138.41 | 385.01 | 355.89 | 138.41 | 68.80 | 100.20 | 86.81 | 68.80 | 100.20 | 86.81 |
| 2 | 385.01 | 360.83 | 135.03 | 385.01 | 360.83 | 135.03 | 68.80 | 101.85 | 87.91 | 68.80 | 101.85 | 87.91 |
| 3 | 372.55 | 355.77 | 130.41 | 372.55 | 355.77 | 130.41 | 68.80 | 100.68 | 86.78 | 68.80 | 100.68 | 86.78 |
| 4 | 334.84 | 328.43 | 128.86 | 334.84 | 328.43 | 128.86 | 68.80 | 97.09 | 84.40 | 68.80 | 97.09 | 84.40 |
| 5 | 299.70 | 303.77 | 125.36 | 299.70 | 303.77 | 125.36 | 68.80 | 95.06 | 82.14 | 68.80 | 95.06 | 82.14 |
| 6 | 322.26 | 321.45 | 126.02 | 322.26 | 321.45 | 126.02 | 68.80 | 95.41 | 83.31 | 68.80 | 95.41 | 83.31 |
| 7 | 410.15 | 375.37 | 136.62 | 410.15 | 375.37 | 136.62 | 68.80 | 107.28 | 88.13 | 68.80 | 107.28 | 88.13 |
| 8 | 450.00 | 394.37 | 141.93 | 450.00 | 394.37 | 141.93 | 99.34 | 133.83 | 90.14 | 99.34 | 133.83 | 90.14 |
| 9 | 450.00 | 398.80 | 141.49 | 450.00 | 398.80 | 141.49 | 141.99 | 157.92 | 90.59 | 141.99 | 157.92 | 90.59 |
| 10 | 450.00 | 399.51 | 141.12 | 450.00 | 399.51 | 141.12 | 154.56 | 168.05 | 90.17 | 154.56 | 168.05 | 90.17 |
| 11 | 450.00 | 396.77 | 144.51 | 450.00 | 396.77 | 144.51 | 154.56 | 165.25 | 92.21 | 154.56 | 165.25 | 92.21 |
| 12 | 450.00 | 400.81 | 139.54 | 450.00 | 400.81 | 139.54 | 159.50 | 165.30 | 93.02 | 159.50 | 165.30 | 93.02 |
| 13 | 450.00 | 398.96 | 142.03 | 450.00 | 398.96 | 142.03 | 154.56 | 168.21 | 90.40 | 154.56 | 168.21 | 90.40 |
| 14 | 450.00 | 405.41 | 133.56 | 450.00 | 405.41 | 133.56 | 154.56 | 165.08 | 89.79 | 154.56 | 165.08 | 89.79 |
| 15 | 450.00 | 401.57 | 138.52 | 450.00 | 401.57 | 138.52 | 154.56 | 166.86 | 90.68 | 154.56 | 166.86 | 90.68 |
| 16 | 450.00 | 400.16 | 141.12 | 450.00 | 400.16 | 141.12 | 204.74 | 195.40 | 92.58 | 204.74 | 195.40 | 92.58 |
| 17 | 450.00 | 400.77 | 140.46 | 450.00 | 400.77 | 140.46 | 240.93 | 211.36 | 94.79 | 240.93 | 211.36 | 94.79 |
| 18 | 450.00 | 400.22 | 141.13 | 450.00 | 400.22 | 141.13 | 229.76 | 207.89 | 93.58 | 229.76 | 207.89 | 93.58 |
| 19 | 450.00 | 399.79 | 141.31 | 450.00 | 399.79 | 141.31 | 179.59 | 182.59 | 91.29 | 179.59 | 182.59 | 91.29 |
| 20 | 450.00 | 395.37 | 144.47 | 450.00 | 395.37 | 144.47 | 129.42 | 150.72 | 90.61 | 129.42 | 150.72 | 90.61 |
| 21 | 450.00 | 391.66 | 140.43 | 450.00 | 391.66 | 140.43 | 79.25 | 123.88 | 89.52 | 79.25 | 123.88 | 89.52 |
| 22 | 385.01 | 361.31 | 133.70 | 385.01 | 361.31 | 133.70 | 68.80 | 102.55 | 87.46 | 68.80 | 102.55 | 87.46 |
| 23 | 289.60 | 295.14 | 121.36 | 289.60 | 295.14 | 121.36 | 68.80 | 91.92 | 78.25 | 68.80 | 91.92 | 78.25 |
| 24 | 309.81 | 313.10 | 122.89 | 309.81 | 313.10 | 122.89 | 68.80 | 93.85 | 81.10 | 68.80 | 93.85 | 81.10 |

Para el caso de la F.O.I (2), se tiene:

Tabla IV.12. Potencia despachada (Mw) F.O.I (2)

| H | Unidad 1 | | | Unidad 2 | | | Unidad 3 | | | Unidad 4 | | | Unidad 5 | | |
|----|----------|-------|-------|----------|--------|-------|----------|-------|-------|----------|--------|--------|----------|--------|-------|
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 100.00 | 90.00 | 30.00 | 270.45 | 246.85 | 91.76 | 50.00 | 42.70 | 17.66 | 300.00 | 303.63 | 126.20 | 183.36 | 172.61 | 79.20 |
| 2 | 100.00 | 90.22 | 29.70 | 270.45 | 245.54 | 93.99 | 50.00 | 42.59 | 17.76 | 300.00 | 308.40 | 124.42 | 183.36 | 173.57 | 79.35 |
| 3 | 100.00 | 90.16 | 29.79 | 258.00 | 239.02 | 94.03 | 50.00 | 42.56 | 17.79 | 300.00 | 306.68 | 120.47 | 183.36 | 174.57 | 77.59 |
| 4 | 100.00 | 89.88 | 30.16 | 220.28 | 224.60 | 90.24 | 50.00 | 42.29 | 18.06 | 300.00 | 292.18 | 118.99 | 183.36 | 173.64 | 75.99 |
| 5 | 100.00 | 89.08 | 31.19 | 200.00 | 212.75 | 87.72 | 50.00 | 42.80 | 17.55 | 285.15 | 279.22 | 117.61 | 183.36 | 171.52 | 75.45 |
| 6 | 100.00 | 89.52 | 30.63 | 207.71 | 217.77 | 90.51 | 50.00 | 42.54 | 17.81 | 300.00 | 290.28 | 117.62 | 183.36 | 171.85 | 76.43 |
| 7 | 100.00 | 88.68 | 31.68 | 295.60 | 254.10 | 95.07 | 50.00 | 42.60 | 17.75 | 300.00 | 318.06 | 126.31 | 183.36 | 175.33 | 78.10 |
| 8 | 100.00 | 89.64 | 30.47 | 300.00 | 262.44 | 97.71 | 50.00 | 42.46 | 17.89 | 365.98 | 351.42 | 134.88 | 183.36 | 177.98 | 80.58 |
| 9 | 100.00 | 90.08 | 29.89 | 300.00 | 262.68 | 98.77 | 50.00 | 42.91 | 17.44 | 408.63 | 373.28 | 137.47 | 183.36 | 183.62 | 82.91 |
| 10 | 100.00 | 89.88 | 30.16 | 300.00 | 262.85 | 98.64 | 50.00 | 42.44 | 17.91 | 421.20 | 379.43 | 138.08 | 183.36 | 188.24 | 82.85 |
| 11 | 100.00 | 90.08 | 29.89 | 300.00 | 265.04 | 96.12 | 50.00 | 42.38 | 17.97 | 421.20 | 376.72 | 141.19 | 183.36 | 185.41 | 85.64 |
| 12 | 100.00 | 90.46 | 29.38 | 300.00 | 263.79 | 97.61 | 50.00 | 42.80 | 17.55 | 426.14 | 381.99 | 136.91 | 183.36 | 184.22 | 87.21 |
| 13 | 100.00 | 89.70 | 30.40 | 300.00 | 265.06 | 96.12 | 50.00 | 42.50 | 17.85 | 421.20 | 379.42 | 138.82 | 183.36 | 187.82 | 83.59 |
| 14 | 100.00 | 90.26 | 29.65 | 300.00 | 264.44 | 96.83 | 50.00 | 42.10 | 18.24 | 421.20 | 384.42 | 131.03 | 183.36 | 186.16 | 82.74 |
| 15 | 100.00 | 89.86 | 30.19 | 300.00 | 264.41 | 96.83 | 50.00 | 42.84 | 17.51 | 421.20 | 381.80 | 135.73 | 183.36 | 186.76 | 83.94 |
| 16 | 100.00 | 90.54 | 29.27 | 300.00 | 262.26 | 99.49 | 50.00 | 42.61 | 17.75 | 450.00 | 393.59 | 140.03 | 204.74 | 201.97 | 89.41 |
| 17 | 100.00 | 90.10 | 29.87 | 300.00 | 264.54 | 96.85 | 50.00 | 42.50 | 17.85 | 450.00 | 398.31 | 140.05 | 240.93 | 213.82 | 93.32 |
| 18 | 100.00 | 90.14 | 29.81 | 300.00 | 263.94 | 97.56 | 50.00 | 42.16 | 18.18 | 450.00 | 396.96 | 140.56 | 229.76 | 211.15 | 91.74 |
| 19 | 100.00 | 90.16 | 29.79 | 300.00 | 265.08 | 96.13 | 50.00 | 42.10 | 18.24 | 446.23 | 387.40 | 139.36 | 183.36 | 195.04 | 85.94 |
| 20 | 100.00 | 89.38 | 30.81 | 300.00 | 265.54 | 95.13 | 50.00 | 42.21 | 18.13 | 396.06 | 365.25 | 139.43 | 183.36 | 181.23 | 82.35 |
| 21 | 100.00 | 90.08 | 29.89 | 300.00 | 263.07 | 95.43 | 50.00 | 42.50 | 17.85 | 345.88 | 341.77 | 132.24 | 183.36 | 176.14 | 80.00 |
| 22 | 100.00 | 89.96 | 30.05 | 270.45 | 243.85 | 94.88 | 50.00 | 42.72 | 17.64 | 300.00 | 308.85 | 123.20 | 183.36 | 175.03 | 77.76 |
| 23 | 100.00 | 90.00 | 30.00 | 200.00 | 208.32 | 84.89 | 50.00 | 42.48 | 17.87 | 275.04 | 273.47 | 114.43 | 183.36 | 170.94 | 72.99 |
| 24 | 100.00 | 88.96 | 31.34 | 200.00 | 214.59 | 87.33 | 50.00 | 42.81 | 17.54 | 295.25 | 285.52 | 114.74 | 183.36 | 172.16 | 74.47 |

El detalle de potencia despachada por cada unidad ficticia asociada a una unidad real en las horas de máxima y mínima demanda (hora 17 y 23) corresponde a:

Tabla IV.13. Potencia Despachada (Mw)

| Unidad | | Hora 17 | | | | | | | | | Hora 23 | | | | | | | | | |
|----------------|---|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|-------|
| | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I (2) | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I (2) | | | |
| | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | |
| U ₁ | E | P ₁₁ ⁰ | 66.67 | 60.07 | 19.91 | 66.67 | 60.07 | 19.91 | 66.67 | 60.07 | 19.91 | 66.67 | 60.00 | 20.00 | 66.67 | 60.00 | 20.00 | 66.67 | 60.00 | 20.00 |
| | | P ₁₁ ¹ | 33.33 | 30.03 | 9.96 | 33.33 | 30.03 | 9.96 | 33.33 | 30.03 | 9.96 | 33.33 | 30.00 | 10.00 | 33.33 | 30.00 | 10.00 | 33.33 | 30.00 | 10.00 |
| | G | P ₁₁ ¹ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | P ₁₁ ² | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | O | P ₁₁ ² | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | P ₁₁ ³ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₂ | E | P ₂₁ ⁰ | 168.03 | 172.46 | 63.71 | 200.00 | 176.36 | 64.57 | 196.91 | 175.43 | 64.36 | 167.48 | 173.19 | 62.84 | 200.00 | 177.12 | 63.66 | 196.81 | 176.18 | 63.46 |
| | | P ₂₁ ¹ | 84.73 | 86.74 | 31.95 | 73.90 | 85.44 | 31.92 | 99.11 | 87.88 | 32.20 | 82.18 | 87.02 | 31.52 | 71.30 | 85.69 | 31.53 | 0.00 | 31.07 | 41.38 |
| | G | P ₂₁ ¹ | 31.97 | 3.90 | 8.63 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.09 | 0.93 | 4.07 | 32.52 | 3.93 | 8.74 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.19 | 0.94 | 4.15 |
| | | P ₂₁ ² | 15.27 | 1.44 | 3.59 | 26.10 | 2.74 | 6.42 | 0.89 | 0.30 | 1.39 | 17.82 | 1.54 | 3.91 | 28.70 | 2.87 | 6.83 | 0.00 | 0.14 | 9.00 |
| | O | P ₂₁ ² | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | P ₂₁ ³ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₃ | E | P ₃₁ ⁰ | 33.33 | 28.33 | 11.90 | 33.33 | 28.33 | 11.90 | 33.33 | 28.33 | 11.90 | 33.33 | 28.32 | 11.92 | 33.33 | 28.32 | 11.92 | 33.33 | 28.32 | 11.92 |
| | | P ₃₁ ¹ | 16.67 | 14.17 | 5.95 | 16.67 | 14.17 | 5.95 | 16.67 | 14.17 | 5.95 | 16.67 | 14.16 | 5.96 | 16.67 | 14.16 | 5.96 | 16.67 | 14.16 | 5.96 |
| | G | P ₃₁ ¹ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | P ₃₁ ² | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | O | P ₃₁ ² | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | P ₃₁ ³ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₄ | E | P ₄₁ ⁰ | 300.00 | 267.18 | 93.64 | 300.00 | 267.18 | 93.64 | 300.00 | 267.18 | 93.64 | 182.97 | 196.37 | 80.16 | 289.60 | 255.68 | 91.98 | 275.04 | 250.46 | 91.53 |
| | | P ₄₁ ¹ | 150.00 | 133.59 | 46.82 | 150.00 | 133.59 | 46.82 | 150.00 | 131.13 | 47.31 | 106.63 | 98.76 | 41.48 | 0.00 | 39.46 | 52.64 | 0.00 | 23.00 | 49.37 |
| | G | P ₄₁ ¹ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | P ₄₁ ² | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | O | P ₄₁ ² | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | P ₄₁ ³ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₅ | E | P ₅₁ ⁰ | 160.39 | 141.17 | 62.87 | 183.36 | 154.28 | 64.56 | 183.36 | 156.74 | 64.60 | 68.80 | 77.04 | 48.50 | 68.80 | 79.98 | 52.74 | 183.36 | 159.01 | 62.22 |
| | | P ₅₁ ¹ | 80.54 | 70.19 | 32.01 | 57.57 | 57.08 | 38.69 | 57.56 | 57.08 | 38.69 | 0.00 | 14.88 | 32.14 | 0.00 | 11.93 | 29.57 | 0.00 | 11.93 | 29.57 |
| | G | P ₅₁ ¹ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | P ₅₁ ² | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | O | P ₅₁ ² | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | | P ₅₁ ³ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Las emisiones resultantes y permisos de emisión para en el periodo de 24 horas son:

Tabla IV.14. Emisiones en el período (Ton)

| Unidad | NP _i | Función Objetivo I | | | Función Objetivo II | | | Función Objetivo I (2) | | |
|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| | | Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | |
| | | | E[E _m] | S[E _m] | | E[E _m] | S[E _m] | | E[E _m] | S[E _m] |
| U ₁ | 7.43 | 5.21 | 4.69 | 0.32 | 5.21 | 4.69 | 0.32 | 5.21 | 4.69 | 0.32 |
| U ₂ | 22.28 | 23.84 | 21.02 | 1.57 | 23.84 | 21.02 | 1.57 | 22.38 | 20.19 | 1.54 |
| U ₃ | 3.09 | 2.81 | 2.39 | 0.20 | 2.81 | 2.39 | 0.20 | 2.81 | 2.39 | 0.20 |
| U ₄ | 41.78 | 14.83 | 13.79 | 1.07 | 14.83 | 13.79 | 1.07 | 12.56 | 12.19 | 1.03 |
| U ₅ | 25.53 | 12.95 | 13.60 | 1.49 | 12.95 | 13.60 | 1.49 | 17.37 | 16.47 | 1.46 |

El costo en que ha incurrido cada unidad ficticia en el periodo de análisis es como se presenta a continuación. Aquellas unidades reales que no requirieron de permisos adicionales a los ya otorgados, reflejan en forma integral el costo de combustible por la potencia despachada, las demás unidades poseen un componente de costo de combustible y permiso adquirido, este último se muestra en el ítem “permisos” de la tabla.

Tabla IV.15. Costo en el período de estudio (\$)

| Unidad | | Función Objetivo I | | Función Objetivo II | | Función Objetivo I (2) | |
|----------------|----------|--------------------|-------------|---------------------|-------------|------------------------|-------------|
| | | Determinista | Estocástico | Determinista | Estocástico | Determinista | Estocástico |
| | | | E[F] | | E[F] | | E[F] |
| U ₁ | Eco | 21288.00 | 19130.99 | 21288.00 | 19130.99 | 21287.97 | 19130.97 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₂ | Eco | 57456.74 | 59253.60 | 62389.02 | 59853.46 | 60942.51 | 56325.76 |
| | Gen | 11347.98 | 1263.66 | 6415.70 | 663.80 | 805.24 | 260.60 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Permisos | 186.32 | 19.28 | 186.32 | 19.28 | 11.79 | 3.99 |
| U ₃ | Eco | 6240.00 | 5307.12 | 6240.00 | 5307.12 | 6239.96 | 5307.09 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₄ | Eco | 127994.32 | 117089.75 | 127994.32 | 117089.75 | 109920.50 | 104650.08 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₅ | Eco | 33760.81 | 40691.41 | 33760.81 | 40691.41 | 47951.02 | 50208.21 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

El costo total del sistema para el horizonte de tiempo:

Tabla IV.16. Costo total en el período de estudio (\$)

| Función Objetivo I | | | Función Objetivo II | | | Función Objetivo I (2) | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | |
| | E[F _i] | S[F _i] | | E[F _i] | S[F _i] | | E[F _i] | S[F _i] |
| 258087.85 | 584166.35 | 127881.40 | 258087.85 | 584166.35 | 127881.40 | 247147.20 | 644442.18 | 155129.84 |

IV.3 Caso Sistema de 9 Unidades

La demanda horaria en sus valores determinista y esperado responde a los datos del Anexo E, en el caso estocástico esta presenta una desviación estándar de 5% respecto a su valor esperado.

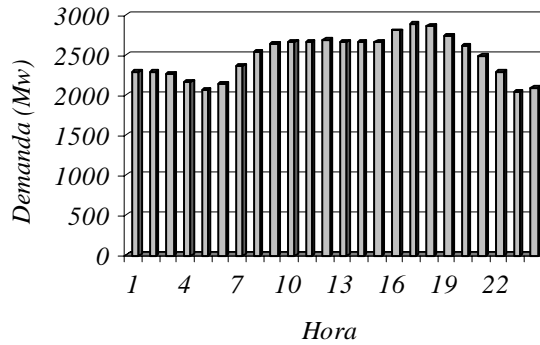


Figura IV.3. Demanda horaria (Determinista/Esperada)

El costo marginal horario y racionamiento resultante, para los casos analizados es como se muestra a continuación:

Tabla IV.17. Costo marginal y racionamiento

| Hora | Costo Marginal (\$/Mwh) | | | | | | Racionamiento (Mw) | | | | | | | | |
|------|-------------------------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| | F.O.I | | | F.O.I (2) | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I (2) | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[L] | S[L] | | E[L] | S[L] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 15.60 | 69.62 | 107.08 | 16.48 | 71.36 | 110.39 | 0.00 | 56.11 | 157.85 | 0.00 | 56.11 | 157.85 | 0.00 | 56.11 | 157.85 |
| 2 | 15.60 | 67.75 | 105.60 | 16.48 | 69.42 | 108.86 | 0.00 | 51.82 | 146.09 | 0.00 | 51.82 | 146.09 | 0.00 | 51.82 | 146.09 |
| 3 | 15.60 | 62.48 | 101.30 | 16.48 | 64.02 | 104.42 | 0.00 | 48.91 | 148.20 | 0.00 | 48.91 | 148.20 | 0.00 | 48.91 | 148.20 |
| 4 | 15.60 | 51.10 | 90.32 | 16.45 | 52.32 | 93.09 | 0.00 | 35.38 | 124.66 | 0.00 | 35.38 | 124.66 | 0.00 | 35.38 | 124.66 |
| 5 | 15.54 | 42.30 | 79.72 | 16.15 | 43.15 | 82.19 | 0.00 | 24.63 | 101.36 | 0.00 | 24.63 | 101.36 | 0.00 | 24.63 | 101.36 |
| 6 | 15.60 | 49.19 | 88.26 | 16.45 | 50.33 | 90.98 | 0.00 | 34.99 | 124.98 | 0.00 | 34.99 | 124.98 | 0.00 | 34.99 | 124.98 |
| 7 | 17.15 | 79.40 | 113.77 | 16.48 | 81.39 | 117.31 | 0.00 | 71.81 | 178.24 | 0.00 | 71.81 | 178.24 | 0.00 | 71.81 | 178.24 |
| 8 | 17.15 | 111.77 | 128.59 | 16.96 | 114.82 | 132.56 | 0.00 | 124.14 | 241.11 | 0.00 | 124.14 | 241.11 | 0.00 | 124.14 | 241.11 |
| 9 | 17.15 | 138.25 | 134.00 | 17.29 | 142.19 | 138.07 | 0.00 | 166.47 | 281.65 | 0.00 | 166.47 | 281.65 | 0.00 | 166.47 | 281.65 |
| 10 | 17.15 | 149.03 | 134.65 | 17.29 | 153.32 | 138.73 | 0.00 | 186.00 | 290.79 | 0.00 | 186.00 | 290.79 | 0.00 | 186.00 | 290.79 |
| 11 | 17.15 | 147.46 | 134.61 | 17.29 | 151.71 | 138.68 | 0.00 | 183.80 | 293.38 | 0.00 | 183.80 | 293.38 | 0.00 | 183.80 | 293.38 |
| 12 | 17.15 | 151.94 | 134.68 | 17.58 | 156.33 | 138.75 | 0.00 | 193.56 | 298.65 | 0.00 | 193.56 | 298.65 | 0.00 | 193.56 | 298.65 |
| 13 | 17.15 | 149.68 | 134.67 | 17.29 | 153.99 | 138.74 | 0.00 | 182.43 | 280.20 | 0.00 | 182.43 | 280.20 | 0.00 | 182.43 | 280.20 |
| 14 | 17.15 | 150.05 | 134.67 | 17.29 | 154.38 | 138.74 | 0.00 | 187.08 | 290.24 | 0.00 | 187.08 | 290.24 | 0.00 | 187.08 | 290.24 |
| 15 | 17.15 | 150.11 | 134.67 | 17.29 | 154.43 | 138.75 | 0.00 | 181.62 | 284.68 | 0.00 | 181.62 | 284.68 | 0.00 | 181.62 | 284.68 |
| 16 | 17.24 | 187.14 | 129.99 | 18.00 | 192.63 | 133.85 | 0.00 | 261.68 | 336.36 | 0.00 | 261.68 | 336.36 | 0.00 | 261.68 | 336.36 |
| 17 | 17.45 | 212.89 | 120.08 | 18.00 | 219.17 | 123.62 | 0.00 | 321.77 | 356.82 | 0.00 | 321.77 | 356.82 | 0.00 | 321.77 | 356.82 |
| 18 | 17.45 | 205.30 | 123.64 | 18.00 | 211.34 | 127.29 | 0.00 | 300.06 | 345.98 | 0.00 | 300.06 | 345.98 | 0.00 | 300.06 | 345.98 |
| 19 | 17.24 | 168.70 | 133.63 | 17.58 | 173.62 | 137.63 | 0.00 | 225.78 | 314.22 | 0.00 | 225.78 | 314.22 | 0.00 | 225.78 | 314.22 |
| 20 | 17.15 | 131.02 | 133.07 | 17.29 | 134.72 | 137.13 | 0.00 | 150.04 | 259.70 | 0.00 | 150.04 | 259.70 | 0.00 | 150.04 | 259.70 |
| 21 | 17.15 | 104.03 | 125.95 | 16.79 | 106.79 | 129.87 | 0.00 | 107.08 | 221.64 | 0.00 | 107.08 | 221.64 | 0.00 | 107.08 | 221.64 |
| 22 | 15.60 | 67.80 | 105.64 | 16.48 | 69.46 | 108.91 | 0.00 | 58.89 | 165.14 | 0.00 | 58.89 | 165.14 | 0.00 | 58.89 | 165.14 |
| 23 | 15.54 | 41.11 | 78.15 | 16.15 | 41.91 | 80.59 | 0.00 | 22.68 | 97.87 | 0.00 | 22.68 | 97.87 | 0.00 | 22.68 | 97.87 |
| 24 | 15.54 | 47.64 | 86.49 | 16.15 | 48.69 | 89.17 | 0.00 | 30.08 | 111.91 | 0.00 | 30.08 | 111.91 | 0.00 | 30.08 | 111.91 |

La potencia total despachada por cada unidad generadora en los casos de la F.O.I y II, resulta:

Tabla IV.18. Potencia despachada (Mw)

| H | Unidad 1 | | | | | | Unidad 2 | | | | | | Unidad 3 | | | | | |
|----|----------|--------|-------|--------|--------|-------|----------|--------|-------|--------|--------|-------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 240.00 | 216.72 | 71.03 | 240.00 | 216.72 | 71.03 | 240.00 | 213.36 | 75.39 | 240.00 | 213.36 | 75.39 | 450.00 | 385.29 | 157.90 | 450.00 | 385.29 | 157.90 |
| 2 | 240.00 | 216.43 | 71.42 | 240.00 | 216.43 | 71.42 | 240.00 | 211.15 | 78.05 | 240.00 | 211.15 | 78.05 | 450.00 | 381.60 | 161.56 | 450.00 | 381.60 | 161.56 |
| 3 | 240.00 | 217.34 | 70.17 | 240.00 | 217.34 | 70.17 | 240.00 | 210.43 | 78.88 | 240.00 | 210.43 | 78.88 | 450.00 | 388.17 | 154.92 | 450.00 | 388.17 | 154.92 |
| 4 | 240.00 | 216.62 | 71.16 | 240.00 | 216.62 | 71.16 | 240.00 | 209.62 | 79.81 | 240.00 | 209.62 | 79.81 | 450.00 | 382.77 | 160.42 | 450.00 | 382.77 | 160.42 |
| 5 | 240.00 | 215.86 | 72.19 | 240.00 | 215.86 | 72.19 | 240.00 | 210.72 | 78.55 | 240.00 | 210.72 | 78.55 | 450.00 | 383.40 | 159.79 | 450.00 | 383.40 | 159.79 |
| 6 | 240.00 | 215.14 | 73.14 | 240.00 | 215.14 | 73.14 | 240.00 | 213.70 | 74.97 | 240.00 | 213.70 | 74.97 | 450.00 | 383.58 | 159.62 | 450.00 | 383.58 | 159.62 |
| 7 | 240.00 | 216.53 | 71.29 | 240.00 | 216.53 | 71.29 | 240.00 | 212.64 | 76.27 | 240.00 | 212.64 | 76.27 | 450.00 | 380.61 | 162.51 | 450.00 | 380.61 | 162.51 |
| 8 | 240.00 | 214.56 | 73.88 | 240.00 | 214.56 | 73.88 | 240.00 | 210.53 | 78.77 | 240.00 | 210.53 | 78.77 | 450.00 | 380.34 | 162.77 | 450.00 | 380.34 | 162.77 |
| 9 | 240.00 | 215.71 | 72.38 | 240.00 | 215.71 | 72.38 | 240.00 | 210.67 | 78.60 | 240.00 | 210.67 | 78.60 | 450.00 | 386.82 | 156.33 | 450.00 | 386.82 | 156.33 |
| 10 | 240.00 | 216.29 | 71.61 | 240.00 | 216.29 | 71.61 | 240.00 | 210.34 | 78.99 | 240.00 | 210.34 | 78.99 | 450.00 | 379.53 | 163.54 | 450.00 | 379.53 | 163.54 |
| 11 | 240.00 | 215.14 | 73.14 | 240.00 | 215.14 | 73.14 | 240.00 | 211.44 | 77.71 | 240.00 | 211.44 | 77.71 | 450.00 | 381.15 | 161.99 | 450.00 | 381.15 | 161.99 |
| 12 | 240.00 | 215.04 | 73.26 | 240.00 | 215.04 | 73.26 | 240.00 | 211.06 | 78.16 | 240.00 | 211.06 | 78.16 | 450.00 | 384.66 | 158.54 | 450.00 | 384.66 | 158.54 |
| 13 | 240.00 | 215.90 | 72.13 | 240.00 | 215.90 | 72.13 | 240.00 | 210.43 | 78.88 | 240.00 | 210.43 | 78.88 | 450.00 | 383.13 | 160.06 | 450.00 | 383.13 | 160.06 |
| 14 | 240.00 | 216.19 | 71.74 | 240.00 | 216.19 | 71.74 | 240.00 | 211.15 | 78.05 | 240.00 | 211.15 | 78.05 | 450.00 | 384.03 | 159.17 | 450.00 | 384.03 | 159.17 |
| 15 | 240.00 | 216.29 | 71.61 | 240.00 | 216.29 | 71.61 | 240.00 | 211.58 | 77.54 | 240.00 | 211.58 | 77.54 | 450.00 | 380.43 | 162.69 | 450.00 | 380.43 | 162.69 |
| 16 | 240.00 | 215.57 | 72.57 | 240.00 | 215.57 | 72.57 | 240.00 | 210.34 | 78.99 | 240.00 | 210.34 | 78.99 | 450.00 | 382.86 | 160.33 | 450.00 | 382.86 | 160.33 |
| 17 | 240.00 | 216.14 | 71.81 | 240.00 | 216.14 | 71.81 | 240.00 | 211.58 | 77.54 | 240.00 | 211.58 | 77.54 | 450.00 | 379.35 | 163.71 | 450.00 | 379.35 | 163.71 |
| 18 | 240.00 | 215.18 | 73.08 | 240.00 | 215.18 | 73.08 | 240.00 | 210.43 | 78.88 | 240.00 | 210.43 | 78.88 | 450.00 | 379.26 | 163.80 | 450.00 | 379.26 | 163.80 |
| 19 | 240.00 | 216.96 | 70.70 | 240.00 | 216.96 | 70.70 | 240.00 | 211.15 | 78.05 | 240.00 | 211.15 | 78.05 | 450.00 | 382.77 | 160.42 | 450.00 | 382.77 | 160.42 |
| 20 | 240.00 | 215.38 | 72.82 | 240.00 | 215.38 | 72.82 | 240.00 | 211.15 | 78.05 | 240.00 | 211.15 | 78.05 | 450.00 | 380.61 | 162.51 | 450.00 | 380.61 | 162.51 |
| 21 | 240.00 | 217.44 | 70.04 | 240.00 | 217.44 | 70.04 | 240.00 | 209.57 | 79.86 | 240.00 | 209.57 | 79.86 | 450.00 | 380.16 | 162.94 | 450.00 | 380.16 | 162.94 |
| 22 | 240.00 | 214.85 | 73.51 | 240.00 | 214.85 | 73.51 | 240.00 | 212.64 | 76.27 | 240.00 | 212.64 | 76.27 | 450.00 | 381.87 | 161.30 | 450.00 | 381.87 | 161.30 |
| 23 | 240.00 | 213.07 | 75.75 | 240.00 | 213.07 | 75.75 | 240.00 | 210.43 | 78.88 | 240.00 | 210.43 | 78.88 | 450.00 | 379.17 | 163.88 | 450.00 | 379.17 | 163.88 |
| 24 | 240.00 | 214.99 | 73.32 | 240.00 | 214.99 | 73.32 | 240.00 | 211.82 | 77.26 | 240.00 | 211.82 | 77.26 | 450.00 | 382.32 | 160.86 | 450.00 | 382.32 | 160.86 |

Tabla IV.19. Potencia despachada (Mw). (Continuación)

| H | Unidad 4 | | | | | | Unidad 5 | | | | | | Unidad 6 | | | | | |
|----|----------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 350.00 | 309.67 | 111.29 | 350.00 | 309.67 | 111.29 | 350.00 | 301.96 | 119.80 | 350.00 | 301.96 | 119.81 | 350.00 | 481.32 | 234.56 | 350.00 | 481.32 | 234.56 |
| 2 | 350.00 | 309.83 | 111.15 | 350.00 | 309.83 | 111.16 | 350.00 | 301.29 | 120.49 | 350.00 | 301.29 | 120.49 | 350.00 | 489.61 | 231.88 | 350.00 | 489.61 | 231.88 |
| 3 | 350.00 | 312.03 | 108.35 | 350.00 | 312.03 | 108.35 | 350.00 | 302.23 | 119.06 | 350.00 | 302.24 | 119.05 | 350.00 | 466.74 | 228.37 | 350.00 | 466.74 | 228.37 |
| 4 | 350.00 | 307.02 | 111.65 | 350.00 | 307.02 | 111.66 | 350.00 | 297.35 | 119.94 | 350.00 | 297.35 | 119.93 | 350.00 | 434.15 | 216.61 | 350.00 | 434.15 | 216.61 |
| 5 | 350.00 | 303.00 | 109.78 | 350.00 | 303.01 | 109.78 | 323.90 | 290.76 | 118.02 | 323.90 | 290.74 | 118.00 | 350.00 | 401.61 | 199.39 | 350.00 | 401.61 | 199.39 |
| 6 | 350.00 | 307.49 | 109.28 | 350.00 | 307.49 | 109.29 | 350.00 | 293.83 | 120.63 | 350.00 | 293.82 | 120.61 | 350.00 | 418.04 | 210.07 | 350.00 | 418.04 | 210.07 |
| 7 | 350.00 | 312.62 | 108.00 | 350.00 | 312.62 | 108.00 | 350.00 | 301.48 | 120.68 | 350.00 | 301.48 | 120.68 | 408.08 | 505.66 | 241.44 | 408.08 | 505.66 | 241.44 |
| 8 | 350.00 | 313.46 | 107.02 | 350.00 | 313.46 | 107.02 | 350.00 | 300.09 | 122.38 | 350.00 | 300.09 | 122.38 | 585.98 | 594.07 | 241.41 | 585.98 | 594.07 | 241.41 |
| 9 | 350.00 | 312.06 | 108.81 | 350.00 | 312.06 | 108.81 | 350.00 | 297.85 | 124.63 | 350.00 | 297.85 | 124.63 | 693.80 | 629.57 | 238.66 | 693.80 | 629.57 | 238.66 |
| 10 | 350.00 | 313.60 | 106.84 | 350.00 | 313.60 | 106.84 | 350.00 | 302.61 | 119.75 | 350.00 | 302.61 | 119.75 | 725.57 | 632.93 | 243.69 | 725.57 | 632.93 | 243.69 |
| 11 | 350.00 | 310.87 | 110.29 | 350.00 | 310.87 | 110.29 | 350.00 | 299.39 | 123.09 | 350.00 | 299.39 | 123.09 | 725.57 | 640.67 | 234.95 | 725.57 | 640.67 | 234.95 |
| 12 | 350.00 | 312.34 | 108.46 | 350.00 | 312.34 | 108.46 | 350.00 | 297.85 | 124.63 | 350.00 | 297.85 | 124.63 | 738.05 | 632.56 | 247.31 | 738.05 | 632.56 | 247.31 |
| 13 | 350.00 | 312.62 | 108.10 | 350.00 | 312.62 | 108.10 | 350.00 | 300.30 | 122.17 | 350.00 | 300.30 | 122.17 | 725.57 | 637.04 | 239.58 | 725.57 | 637.04 | 239.58 |
| 14 | 350.00 | 310.94 | 110.21 | 350.00 | 310.94 | 110.21 | 350.00 | 299.32 | 123.16 | 350.00 | 299.32 | 123.16 | 725.57 | 630.29 | 246.56 | 725.57 | 630.29 | 246.56 |
| 15 | 350.00 | 313.88 | 106.48 | 350.00 | 313.88 | 106.48 | 350.00 | 301.21 | 121.23 | 350.00 | 301.21 | 121.23 | 725.57 | 637.03 | 239.51 | 725.57 | 637.03 | 239.51 |
| 16 | 350.00 | 312.76 | 107.92 | 350.00 | 312.76 | 107.92 | 350.00 | 297.99 | 124.49 | 350.00 | 297.99 | 124.49 | 750.00 | 650.63 | 245.55 | 750.00 | 650.63 | 245.55 |
| 17 | 350.00 | 313.25 | 107.29 | 350.00 | 313.25 | 107.29 | 350.00 | 300.09 | 122.38 | 350.00 | 300.09 | 122.38 | 750.00 | 655.13 | 246.41 | 750.00 | 655.13 | 246.41 |
| 18 | 350.00 | 312.90 | 107.74 | 350.00 | 312.90 | 107.74 | 350.00 | 299.18 | 123.31 | 350.00 | 299.18 | 123.31 | 750.00 | 656.92 | 243.32 | 750.00 | 656.92 | 243.32 |
| 19 | 350.00 | 312.27 | 108.54 | 350.00 | 312.27 | 108.54 | 350.00 | 302.89 | 119.45 | 350.00 | 302.89 | 119.45 | 750.00 | 637.89 | 252.40 | 750.00 | 637.89 | 252.40 |
| 20 | 350.00 | 312.48 | 108.28 | 350.00 | 312.48 | 108.28 | 350.00 | 299.88 | 122.60 | 350.00 | 299.88 | 122.60 | 662.02 | 630.09 | 230.13 | 662.02 | 630.09 | 230.13 |
| 21 | 350.00 | 311.14 | 109.94 | 350.00 | 311.14 | 109.94 | 350.00 | 298.82 | 123.65 | 350.00 | 298.82 | 123.65 | 535.20 | 571.90 | 239.98 | 535.20 | 571.90 | 239.98 |
| 22 | 350.00 | 311.33 | 109.33 | 350.00 | 311.32 | 109.33 | 350.00 | 300.99 | 120.72 | 350.00 | 300.99 | 120.72 | 350.00 | 479.56 | 233.61 | 350.00 | 479.56 | 233.61 |
| 23 | 350.00 | 299.44 | 110.82 | 350.00 | 299.43 | 110.82 | 298.36 | 285.15 | 119.17 | 298.36 | 285.15 | 119.14 | 350.00 | 394.86 | 196.36 | 350.00 | 394.86 | 196.36 |
| 24 | 350.00 | 304.95 | 110.36 | 350.00 | 304.95 | 110.36 | 349.44 | 289.45 | 121.89 | 349.44 | 289.45 | 121.88 | 350.00 | 411.12 | 205.30 | 350.00 | 411.12 | 205.30 |

Tabla IV.20. Potencia despachada (Mw). (Continuación)

| H | Unidad 7 | | | | | | Unidad 8 | | | | | | Unidad 9 | | | | | |
|----|----------|--------|-------|--------|--------|-------|----------|--------|-------|--------|--------|-------|----------|--------|-------|--------|--------|-------|
| | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 35.00 | 58.66 | 57.16 | 35.00 | 58.66 | 57.16 | 35.00 | 66.12 | 62.69 | 35.00 | 66.12 | 62.69 | 234.52 | 197.27 | 80.00 | 234.52 | 197.27 | 80.00 |
| 2 | 35.00 | 57.19 | 55.85 | 35.00 | 57.19 | 55.85 | 35.00 | 66.54 | 62.16 | 35.00 | 66.54 | 62.16 | 234.52 | 199.34 | 78.70 | 234.52 | 199.34 | 78.70 |
| 3 | 35.00 | 55.60 | 54.50 | 35.00 | 55.60 | 54.50 | 35.00 | 60.94 | 59.59 | 35.00 | 60.94 | 59.59 | 203.04 | 192.28 | 81.39 | 203.04 | 192.28 | 81.39 |
| 4 | 35.00 | 49.47 | 48.12 | 35.00 | 49.47 | 48.12 | 35.00 | 57.13 | 56.04 | 35.00 | 57.13 | 56.04 | 107.71 | 168.15 | 90.45 | 107.71 | 168.15 | 90.45 |
| 5 | 35.00 | 44.95 | 43.18 | 35.00 | 44.95 | 43.18 | 35.00 | 50.84 | 50.56 | 35.00 | 50.84 | 50.56 | 45.00 | 144.76 | 96.31 | 45.00 | 144.76 | 96.31 |
| 6 | 35.00 | 47.96 | 46.99 | 35.00 | 47.96 | 46.99 | 35.00 | 54.17 | 54.13 | 35.00 | 54.17 | 54.13 | 75.93 | 158.45 | 92.76 | 75.93 | 158.45 | 92.76 |
| 7 | 35.00 | 62.88 | 59.98 | 35.00 | 62.88 | 59.98 | 35.00 | 73.91 | 65.88 | 35.00 | 73.91 | 65.88 | 240.00 | 207.16 | 75.32 | 240.00 | 207.16 | 75.32 |
| 8 | 35.00 | 80.26 | 68.15 | 35.00 | 80.26 | 68.15 | 35.00 | 94.26 | 71.53 | 35.00 | 94.26 | 71.53 | 240.00 | 214.58 | 73.30 | 240.00 | 214.58 | 73.30 |
| 9 | 35.00 | 92.40 | 71.11 | 35.00 | 92.40 | 71.11 | 35.00 | 106.88 | 72.19 | 35.00 | 106.88 | 72.19 | 240.00 | 216.01 | 71.93 | 240.00 | 216.01 | 71.93 |
| 10 | 35.00 | 97.12 | 71.79 | 35.00 | 97.12 | 71.79 | 35.00 | 113.80 | 71.32 | 35.00 | 113.80 | 71.32 | 240.00 | 214.60 | 73.76 | 240.00 | 214.60 | 73.76 |
| 11 | 35.00 | 96.23 | 71.75 | 35.00 | 96.23 | 71.75 | 35.00 | 112.62 | 71.45 | 35.00 | 112.62 | 71.45 | 240.00 | 215.52 | 72.51 | 240.00 | 215.52 | 72.51 |
| 12 | 35.00 | 98.70 | 71.70 | 35.00 | 98.70 | 71.70 | 35.00 | 115.01 | 71.22 | 35.00 | 115.01 | 71.22 | 240.00 | 215.88 | 72.13 | 240.00 | 215.88 | 72.13 |
| 13 | 35.00 | 96.77 | 71.66 | 35.00 | 96.77 | 71.66 | 35.00 | 113.05 | 71.78 | 35.00 | 113.05 | 71.78 | 240.00 | 216.58 | 71.18 | 240.00 | 216.58 | 71.18 |
| 14 | 35.00 | 97.29 | 71.92 | 35.00 | 97.29 | 71.92 | 35.00 | 112.46 | 72.05 | 35.00 | 112.46 | 72.05 | 240.00 | 215.76 | 72.27 | 240.00 | 215.76 | 72.27 |
| 15 | 35.00 | 96.73 | 71.81 | 35.00 | 96.73 | 71.81 | 35.00 | 113.25 | 71.46 | 35.00 | 113.25 | 71.46 | 240.00 | 215.64 | 72.44 | 240.00 | 215.64 | 72.44 |
| 16 | 35.00 | 114.09 | 71.55 | 35.00 | 114.09 | 71.55 | 137.39 | 131.61 | 67.53 | 137.39 | 131.61 | 67.53 | 240.00 | 216.53 | 71.29 | 240.00 | 216.53 | 71.29 |
| 17 | 88.87 | 127.13 | 68.53 | 88.87 | 127.13 | 68.53 | 175.00 | 143.86 | 61.87 | 175.00 | 143.86 | 61.87 | 240.00 | 217.06 | 70.57 | 240.00 | 217.06 | 70.57 |
| 18 | 60.66 | 126.08 | 68.19 | 60.66 | 126.08 | 68.19 | 175.00 | 139.47 | 64.67 | 175.00 | 139.47 | 64.67 | 240.00 | 215.28 | 72.95 | 240.00 | 215.28 | 72.95 |
| 19 | 35.00 | 106.04 | 72.19 | 35.00 | 106.04 | 72.19 | 73.84 | 123.42 | 69.43 | 73.84 | 123.42 | 69.43 | 240.00 | 214.21 | 74.31 | 240.00 | 214.21 | 74.31 |
| 20 | 35.00 | 87.87 | 70.49 | 35.00 | 87.87 | 70.49 | 35.00 | 101.37 | 72.57 | 35.00 | 101.37 | 72.57 | 240.00 | 213.41 | 75.17 | 240.00 | 213.41 | 75.17 |
| 21 | 35.00 | 75.78 | 66.36 | 35.00 | 75.78 | 66.36 | 35.00 | 87.83 | 70.82 | 35.00 | 87.83 | 70.82 | 240.00 | 214.75 | 72.10 | 240.00 | 214.75 | 72.10 |
| 22 | 35.00 | 57.34 | 55.96 | 35.00 | 57.34 | 55.96 | 35.00 | 66.22 | 62.41 | 35.00 | 66.22 | 62.41 | 234.52 | 199.97 | 78.14 | 234.52 | 199.97 | 78.14 |
| 23 | 35.00 | 44.23 | 42.03 | 35.00 | 44.23 | 42.03 | 35.00 | 50.66 | 49.65 | 35.00 | 50.66 | 49.65 | 45.00 | 143.12 | 96.47 | 45.00 | 143.12 | 96.47 |
| 24 | 35.00 | 46.59 | 45.43 | 35.00 | 46.59 | 45.43 | 35.00 | 52.02 | 51.97 | 35.00 | 52.02 | 51.97 | 45.00 | 152.81 | 94.95 | 45.00 | 152.81 | 94.95 |

Mientras que para la F.O.I (2), la potencia despachada corresponde a la siguiente:

Tabla IV.21. Potencia despachada (Mw) F.O.I (2)

| H | Unidad 1 | | | Unidad 2 | | | Unidad 3 | | | Unidad 4 | | | Unidad 5 | | | Unidad 6 | | |
|----|----------|--------|-------|----------|--------|-------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 240.00 | 216.72 | 71.03 | 240.00 | 213.36 | 75.39 | 450.00 | 385.29 | 157.90 | 350.00 | 307.66 | 111.14 | 350.00 | 298.62 | 119.42 | 431.19 | 472.97 | 205.51 |
| 2 | 240.00 | 216.43 | 71.42 | 240.00 | 211.15 | 78.05 | 450.00 | 381.60 | 161.56 | 350.00 | 307.90 | 111.02 | 350.00 | 298.40 | 120.10 | 431.19 | 479.32 | 201.36 |
| 3 | 240.00 | 217.34 | 70.17 | 240.00 | 210.43 | 78.88 | 450.00 | 388.17 | 154.92 | 350.00 | 309.05 | 108.16 | 350.00 | 297.82 | 118.49 | 399.71 | 459.75 | 200.18 |
| 4 | 240.00 | 216.62 | 71.16 | 240.00 | 209.62 | 79.81 | 450.00 | 382.77 | 160.42 | 350.00 | 299.44 | 110.94 | 304.37 | 287.63 | 118.44 | 350.00 | 428.16 | 193.07 |
| 5 | 240.00 | 215.86 | 72.19 | 240.00 | 210.72 | 78.55 | 450.00 | 383.40 | 159.79 | 304.46 | 289.91 | 107.72 | 261.11 | 277.06 | 114.81 | 350.00 | 401.33 | 183.02 |
| 6 | 240.00 | 215.14 | 73.14 | 240.00 | 213.70 | 74.97 | 450.00 | 383.58 | 159.62 | 350.00 | 297.27 | 108.30 | 272.60 | 282.33 | 118.32 | 350.00 | 414.80 | 189.72 |
| 7 | 240.00 | 216.53 | 71.29 | 240.00 | 212.64 | 76.27 | 450.00 | 380.61 | 162.51 | 350.00 | 311.73 | 107.96 | 350.00 | 300.08 | 120.51 | 494.75 | 493.99 | 212.34 |
| 8 | 240.00 | 214.56 | 73.88 | 240.00 | 210.53 | 78.77 | 450.00 | 380.34 | 162.77 | 350.00 | 313.44 | 107.02 | 350.00 | 300.06 | 122.37 | 572.22 | 555.21 | 220.24 |
| 9 | 240.00 | 215.71 | 72.38 | 240.00 | 210.67 | 78.60 | 450.00 | 386.82 | 156.33 | 350.00 | 312.06 | 108.81 | 350.00 | 297.85 | 124.63 | 572.22 | 580.24 | 224.60 |
| 10 | 240.00 | 216.29 | 71.61 | 240.00 | 210.34 | 78.99 | 450.00 | 379.53 | 163.54 | 350.00 | 313.60 | 106.84 | 350.00 | 302.61 | 119.75 | 572.22 | 584.12 | 231.10 |
| 11 | 240.00 | 215.14 | 73.14 | 240.00 | 211.44 | 77.71 | 450.00 | 381.15 | 161.99 | 350.00 | 310.87 | 110.29 | 350.00 | 299.39 | 123.09 | 572.22 | 590.63 | 223.45 |
| 12 | 240.00 | 215.04 | 73.26 | 240.00 | 211.06 | 78.16 | 450.00 | 384.66 | 158.54 | 350.00 | 312.34 | 108.46 | 350.00 | 297.85 | 124.63 | 572.22 | 582.84 | 234.86 |
| 13 | 240.00 | 215.90 | 72.13 | 240.00 | 210.43 | 78.88 | 450.00 | 383.13 | 160.06 | 350.00 | 312.62 | 108.10 | 350.00 | 300.29 | 122.17 | 572.22 | 587.84 | 227.94 |
| 14 | 240.00 | 216.19 | 71.74 | 240.00 | 211.15 | 78.05 | 450.00 | 384.03 | 159.17 | 350.00 | 310.94 | 110.21 | 350.00 | 299.31 | 123.16 | 572.22 | 581.74 | 233.91 |
| 15 | 240.00 | 216.29 | 71.61 | 240.00 | 211.58 | 77.54 | 450.00 | 380.43 | 162.69 | 350.00 | 313.88 | 106.48 | 350.00 | 301.21 | 121.23 | 572.22 | 587.93 | 227.68 |
| 16 | 240.00 | 215.57 | 72.57 | 240.00 | 210.34 | 78.99 | 450.00 | 382.86 | 160.33 | 350.00 | 312.76 | 107.92 | 350.00 | 297.99 | 124.49 | 572.39 | 610.47 | 238.84 |
| 17 | 240.00 | 216.14 | 71.81 | 240.00 | 211.58 | 77.54 | 450.00 | 379.35 | 163.71 | 350.00 | 313.25 | 107.29 | 350.00 | 300.09 | 122.38 | 663.87 | 626.89 | 242.26 |
| 18 | 240.00 | 215.18 | 73.08 | 240.00 | 210.43 | 78.88 | 450.00 | 379.26 | 163.80 | 350.00 | 312.90 | 107.74 | 350.00 | 299.18 | 123.31 | 635.66 | 624.94 | 238.86 |
| 19 | 240.00 | 216.96 | 70.70 | 240.00 | 211.15 | 78.05 | 450.00 | 382.77 | 160.42 | 350.00 | 312.27 | 108.54 | 350.00 | 302.89 | 119.45 | 572.22 | 590.55 | 242.02 |
| 20 | 240.00 | 215.38 | 72.82 | 240.00 | 211.15 | 78.05 | 450.00 | 380.61 | 162.51 | 350.00 | 312.48 | 108.28 | 350.00 | 299.87 | 122.59 | 572.22 | 581.68 | 215.75 |
| 21 | 240.00 | 217.44 | 70.04 | 240.00 | 209.57 | 79.86 | 450.00 | 380.16 | 162.94 | 350.00 | 311.03 | 109.93 | 350.00 | 298.62 | 123.62 | 572.22 | 544.41 | 216.43 |
| 22 | 240.00 | 214.85 | 73.51 | 240.00 | 212.64 | 76.27 | 450.00 | 381.87 | 161.30 | 350.00 | 309.38 | 109.22 | 350.00 | 298.18 | 120.38 | 431.19 | 472.42 | 204.57 |
| 23 | 240.00 | 213.07 | 75.75 | 240.00 | 210.43 | 78.88 | 450.00 | 379.17 | 163.88 | 278.92 | 285.90 | 108.37 | 261.11 | 272.43 | 115.57 | 350.00 | 395.31 | 180.68 |
| 24 | 240.00 | 214.99 | 73.32 | 240.00 | 211.82 | 77.26 | 450.00 | 382.32 | 160.86 | 330.00 | 293.41 | 108.91 | 261.11 | 276.87 | 119.02 | 350.00 | 409.25 | 187.25 |

Tabla IV.22. Potencia despachada (Mw) F.O.I (2). (Continuación)

| H | Unidad 7 | | | Unidad 8 | | | Unidad 9 | | |
|----|----------|--------|-------|----------|--------|-------|----------|--------|-------|
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 35.00 | 76.09 | 65.22 | 35.00 | 81.21 | 67.32 | 153.33 | 178.43 | 72.21 |
| 2 | 35.00 | 75.33 | 64.34 | 35.00 | 82.72 | 66.74 | 153.33 | 180.12 | 71.85 |
| 3 | 35.00 | 71.38 | 62.72 | 35.00 | 75.24 | 64.96 | 153.33 | 176.59 | 71.00 |
| 4 | 35.00 | 62.01 | 57.04 | 35.00 | 68.02 | 60.71 | 153.33 | 168.00 | 71.29 |
| 5 | 35.00 | 53.89 | 50.98 | 35.00 | 58.41 | 54.91 | 153.33 | 155.30 | 71.76 |
| 6 | 35.00 | 59.18 | 55.59 | 35.00 | 63.03 | 58.70 | 153.33 | 163.33 | 70.47 |
| 7 | 35.00 | 82.74 | 67.45 | 35.00 | 90.31 | 69.01 | 153.33 | 184.86 | 72.39 |
| 8 | 35.00 | 107.75 | 70.16 | 48.77 | 115.68 | 68.78 | 240.00 | 204.57 | 74.28 |
| 9 | 78.80 | 122.48 | 67.27 | 112.78 | 129.65 | 65.07 | 240.00 | 212.49 | 72.45 |
| 10 | 110.58 | 127.38 | 66.06 | 112.78 | 134.84 | 63.83 | 240.00 | 212.11 | 74.00 |
| 11 | 110.58 | 126.53 | 66.39 | 112.78 | 134.59 | 63.37 | 240.00 | 213.29 | 72.81 |
| 12 | 112.78 | 129.10 | 64.92 | 123.05 | 136.30 | 62.83 | 240.00 | 213.91 | 72.41 |
| 13 | 110.58 | 127.30 | 66.14 | 112.78 | 133.80 | 64.50 | 240.00 | 214.50 | 71.43 |
| 14 | 110.58 | 127.32 | 66.17 | 112.78 | 133.25 | 64.71 | 240.00 | 213.49 | 72.53 |
| 15 | 110.58 | 126.64 | 66.28 | 112.78 | 134.83 | 63.33 | 240.00 | 213.25 | 72.74 |
| 16 | 175.00 | 141.35 | 62.21 | 175.00 | 144.90 | 61.64 | 240.00 | 216.15 | 71.32 |
| 17 | 175.00 | 147.94 | 59.62 | 175.00 | 151.40 | 57.84 | 240.00 | 216.95 | 70.58 |
| 18 | 175.00 | 149.11 | 57.46 | 175.00 | 148.53 | 60.14 | 240.00 | 215.18 | 72.95 |
| 19 | 112.78 | 135.88 | 63.33 | 173.84 | 141.87 | 61.44 | 240.00 | 213.27 | 74.39 |
| 20 | 47.02 | 117.49 | 68.32 | 112.78 | 124.45 | 66.72 | 240.00 | 209.13 | 75.50 |
| 21 | 35.00 | 100.07 | 69.99 | 35.00 | 106.41 | 70.25 | 202.98 | 199.67 | 73.18 |
| 22 | 35.00 | 74.55 | 64.35 | 35.00 | 81.42 | 67.09 | 153.33 | 179.47 | 71.09 |
| 23 | 35.00 | 52.64 | 49.99 | 35.00 | 57.77 | 53.96 | 153.33 | 153.39 | 72.03 |
| 24 | 35.00 | 55.91 | 52.84 | 35.00 | 60.83 | 56.74 | 153.33 | 160.66 | 71.47 |

Las emisiones resultantes y permisos de emisión para en el periodo de 24 horas son:

Tabla IV.23. Emisiones en el período (Ton)

| Unidad | NP _i | Función Objetivo I | | | Función Objetivo II | | | Función Objetivo I (2) | | |
|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| | | Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | |
| | | | E[E _m] | S[E _m] | | E[E _m] | S[E _m] | | E[E _m] | S[E _m] |
| U ₁ | 17.83 | 17.22 | 15.48 | 1.06 | 17.22 | 15.48 | 1.06 | 17.22 | 15.48 | 1.06 |
| U ₂ | 17.83 | 17.22 | 15.15 | 1.14 | 17.22 | 15.15 | 1.14 | 17.22 | 15.15 | 1.14 |
| U ₃ | 33.43 | 42.97 | 36.50 | 3.14 | 42.97 | 36.50 | 3.14 | 42.97 | 36.50 | 3.14 |
| U ₄ | 21.66 | 26.39 | 23.31 | 1.69 | 26.39 | 23.31 | 1.69 | 25.51 | 22.88 | 1.71 |
| U ₅ | 21.66 | 25.88 | 22.33 | 1.89 | 25.88 | 22.33 | 1.89 | 23.88 | 21.84 | 1.89 |
| U ₆ | 55.71 | 31.78 | 34.45 | 3.58 | 31.78 | 34.45 | 3.58 | 23.25 | 29.99 | 3.16 |
| U ₇ | 16.25 | 7.48 | 9.59 | 1.04 | 7.48 | 9.59 | 1.04 | 9.98 | 11.04 | 1.07 |
| U ₈ | 16.25 | 8.41 | 10.33 | 1.09 | 8.41 | 10.33 | 1.09 | 10.51 | 11.37 | 1.10 |
| U ₉ | 17.83 | 12.42 | 12.45 | 1.05 | 12.42 | 12.45 | 1.05 | 11.44 | 11.63 | 1.00 |

El costo en que ha incurrido cada unidad ficticia en el periodo de análisis es como se presenta a continuación. Aquellas unidades reales que no requirieron de permisos adicionales a los ya otorgados, reflejan en forma integra el costo de combustible por la potencia despachada, las demás unidades poseen un componente de costo de combustible y permiso adquirido, este último se muestra en el ítem “Permisos” de la tabla.

Tabla IV.25. Costo en el período de estudio (\$)

| Unidad | | Función Objetivo I | | Función Objetivo II | | Función Objetivo I (2) | |
|----------------|----------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| | | Determinista | Estocástico E[F] | Determinista | Estocástico E[F] | Determinista | Estocástico E[F] |
| U ₁ | Eco | 74865.22 | 67318.18 | 74865.22 | 67318.18 | 74864.84 | 67317.84 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₂ | Eco | 75025.92 | 66011.55 | 75025.92 | 66011.55 | 75027.24 | 66012.72 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₃ | Eco | 119187.06 | 113264.26 | 124254.58 | 115227.32 | 119152.41 | 113259.45 |
| | Gen | 25864.82 | 9383.18 | 20797.30 | 7420.12 | 25901.97 | 9390.12 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Permisos | 1145.70 | 408.77 | 1145.70 | 408.77 | 1145.72 | 408.77 |
| U ₄ | Eco | 112737.50 | 107177.56 | 116155.82 | 108515.81 | 113017.67 | 107165.80 |
| | Gen | 14722.00 | 5625.35 | 11303.68 | 4287.09 | 12233.19 | 4556.63 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Permisos | 556.70 | 214.93 | 556.70 | 214.93 | 461.27 | 172.89 |
| U ₅ | Eco | 113002.63 | 105044.81 | 116184.89 | 105862.32 | 113957.73 | 104774.57 |
| | Gen | 13378.45 | 3411.95 | 10196.18 | 2594.43 | 7230.62 | 2418.45 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Permisos | 506.28 | 128.82 | 506.28 | 128.82 | 265.95 | 90.64 |
| U ₆ | Eco | 241401.55 | 238632.25 | 241401.55 | 238632.25 | 216895.54 | 225801.55 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₇ | Eco | 18101.00 | 35267.28 | 18101.00 | 35267.28 | 34229.74 | 44530.78 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₈ | Eco | 23834.00 | 39873.77 | 23834.00 | 39873.77 | 37175.48 | 46403.78 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₉ | Eco | 80902.81 | 79613.93 | 80902.81 | 79613.92 | 80308.61 | 77334.90 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

El costo total del sistema para el horizonte de tiempo:

Tabla IV.26. Costo total en el período de estudio (\$)

| Función Objetivo I | | | Función Objetivo II | | | Función Objetivo I (2) | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | |
| | E[F _t] | S[F _t] | | E[F _t] | S[F _t] | | E[F _t] | S[F _t] |
| 913022.95 | 1789775.86 | 329405.79 | 913022.95 | 1789775.86 | 329405.79 | 909995.03 | 1815216.04 | 339763.88 |

IV.4 Caso Sistema de 18 Unidades

La demanda horaria en sus valores determinista y esperado responde a los datos del Anexo E, en el caso estocástico esta presenta una desviación estándar de 5% respecto a su valor esperado.

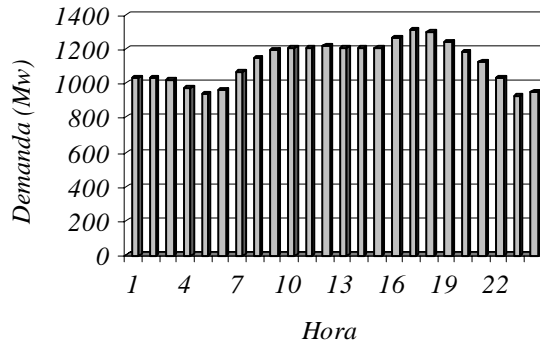


Figura IV.4. Demanda horaria (Determinista/Esperada)

El costo marginal horario y racionamiento resultante, para los casos analizados es como se muestra a continuación

Tabla IV.27. Costo marginal y racionamiento

| Hora | Costo Marginal (\$/Mwh) | | | | | | Racionamiento (Mw) | | | | | | | | |
|------|-------------------------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| | F.O.I | | | F.O.I (2) | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I (2) | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[L] | S[L] | | E[L] | S[L] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 13.07 | 64.07 | 121.01 | 12.83 | 64.05 | 121.02 | 0.00 | 12.14 | 42.36 | 0.00 | 12.14 | 42.36 | 0.00 | 12.14 | 42.36 |
| 2 | 13.07 | 68.12 | 125.10 | 12.83 | 68.06 | 125.13 | 0.00 | 13.09 | 42.98 | 0.00 | 13.09 | 42.98 | 0.00 | 13.09 | 42.98 |
| 3 | 13.07 | 61.92 | 119.22 | 12.83 | 61.88 | 119.23 | 0.00 | 11.10 | 39.24 | 0.00 | 11.10 | 39.24 | 0.00 | 11.10 | 39.24 |
| 4 | 7.13 | 42.16 | 96.96 | 7.37 | 42.13 | 96.97 | 0.00 | 6.18 | 28.47 | 0.00 | 6.18 | 28.47 | 0.00 | 6.18 | 28.47 |
| 5 | 7.13 | 31.12 | 80.62 | 7.12 | 31.10 | 80.62 | 0.00 | 4.26 | 24.69 | 0.00 | 4.26 | 24.69 | 0.00 | 4.26 | 24.69 |
| 6 | 7.13 | 35.51 | 86.96 | 7.24 | 35.49 | 86.97 | 0.00 | 5.28 | 27.71 | 0.00 | 5.28 | 27.71 | 0.00 | 5.28 | 27.71 |
| 7 | 13.08 | 81.61 | 135.92 | 12.88 | 81.59 | 135.94 | 0.00 | 17.87 | 51.74 | 0.00 | 17.87 | 51.74 | 0.00 | 17.87 | 51.74 |
| 8 | 14.22 | 143.07 | 165.79 | 14.46 | 143.11 | 165.77 | 0.00 | 40.68 | 78.34 | 0.00 | 40.68 | 78.34 | 0.00 | 40.68 | 78.34 |
| 9 | 17.92 | 195.49 | 172.07 | 15.84 | 195.52 | 172.05 | 0.00 | 62.01 | 91.45 | 0.00 | 62.01 | 91.45 | 0.00 | 62.01 | 91.45 |
| 10 | 18.14 | 208.91 | 171.16 | 17.20 | 208.95 | 171.12 | 0.00 | 70.80 | 99.90 | 0.00 | 70.80 | 99.90 | 0.00 | 70.80 | 99.90 |
| 11 | 18.14 | 211.03 | 170.96 | 17.20 | 211.06 | 170.93 | 0.00 | 70.02 | 97.95 | 0.00 | 70.02 | 97.95 | 0.00 | 70.02 | 97.95 |
| 12 | 18.14 | 210.85 | 171.02 | 18.82 | 210.89 | 170.98 | 0.00 | 71.63 | 98.81 | 0.00 | 71.63 | 98.81 | 0.00 | 71.63 | 98.81 |
| 13 | 18.14 | 209.71 | 171.11 | 17.20 | 209.74 | 171.07 | 0.00 | 72.70 | 101.31 | 0.00 | 72.70 | 101.31 | 0.00 | 72.70 | 101.31 |
| 14 | 18.14 | 206.75 | 171.37 | 17.20 | 206.76 | 171.37 | 0.00 | 69.12 | 98.86 | 0.00 | 69.12 | 98.86 | 0.00 | 69.12 | 98.86 |
| 15 | 18.14 | 206.49 | 171.44 | 17.20 | 206.51 | 171.42 | 0.00 | 70.59 | 100.65 | 0.00 | 70.59 | 100.65 | 0.00 | 70.59 | 100.65 |
| 16 | 22.45 | 259.01 | 158.16 | 21.49 | 259.08 | 158.06 | 0.00 | 104.35 | 116.64 | 0.00 | 104.35 | 116.64 | 0.00 | 104.35 | 116.64 |
| 17 | 25.81 | 301.52 | 132.71 | 25.69 | 301.56 | 132.63 | 0.00 | 138.22 | 127.26 | 0.00 | 138.22 | 127.26 | 0.00 | 138.22 | 127.26 |
| 18 | 22.45 | 290.00 | 141.28 | 24.87 | 290.06 | 141.17 | 0.00 | 127.05 | 123.82 | 0.00 | 127.05 | 123.82 | 0.00 | 127.05 | 123.82 |
| 19 | 22.45 | 233.99 | 166.56 | 20.51 | 234.06 | 166.48 | 0.00 | 86.46 | 110.41 | 0.00 | 86.46 | 110.41 | 0.00 | 86.46 | 110.41 |
| 20 | 15.31 | 180.41 | 171.98 | 15.46 | 180.42 | 171.97 | 0.00 | 57.28 | 92.24 | 0.00 | 57.28 | 92.24 | 0.00 | 57.28 | 92.24 |
| 21 | 13.14 | 125.10 | 160.03 | 13.52 | 125.12 | 160.02 | 0.00 | 31.73 | 68.24 | 0.00 | 31.73 | 68.24 | 0.00 | 31.73 | 68.24 |
| 22 | 13.07 | 68.66 | 125.66 | 12.83 | 68.63 | 125.67 | 0.00 | 13.03 | 43.04 | 0.00 | 13.03 | 43.04 | 0.00 | 13.03 | 43.04 |
| 23 | 7.13 | 25.73 | 69.50 | 7.12 | 25.72 | 69.51 | 0.00 | 3.17 | 20.91 | 0.00 | 3.17 | 20.91 | 0.00 | 3.17 | 20.91 |
| 24 | 7.13 | 32.48 | 82.73 | 7.24 | 32.46 | 82.74 | 0.00 | 4.42 | 23.82 | 0.00 | 4.42 | 23.82 | 0.00 | 4.42 | 23.82 |

La potencia total despachada que resulta para cada unidad generadora en la F.O.I y II es:

Tabla IV.28. Potencia despachada (Mw)

| Hora | Unidad 1 | | | | | | Unidad 2 | | | | | | Unidad 3 | | | | | |
|------|----------|--------|-------|--------|--------|-------|----------|--------|-------|--------|--------|-------|----------|-------|------|--------|-------|------|
| | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 166.10 | 149.29 | 50.09 | 166.10 | 149.29 | 50.09 | 166.10 | 149.72 | 49.52 | 166.10 | 149.72 | 49.52 | 0.00 | 2.05 | 5.29 | 0.00 | 2.05 | 5.29 |
| 2 | 166.10 | 149.89 | 49.29 | 166.10 | 149.89 | 49.29 | 166.10 | 149.56 | 49.74 | 166.10 | 149.56 | 49.74 | 0.00 | 2.13 | 5.39 | 0.00 | 2.13 | 5.39 |
| 3 | 166.10 | 149.72 | 49.52 | 166.10 | 149.72 | 49.52 | 166.10 | 149.86 | 49.34 | 166.10 | 149.86 | 49.34 | 0.00 | 1.96 | 5.18 | 0.00 | 1.96 | 5.18 |
| 4 | 166.10 | 149.66 | 49.61 | 166.10 | 149.66 | 49.61 | 166.10 | 150.05 | 49.07 | 166.10 | 150.05 | 49.07 | 0.00 | 1.19 | 4.15 | 0.00 | 1.19 | 4.15 |
| 5 | 166.10 | 149.59 | 49.70 | 166.10 | 149.59 | 49.70 | 166.10 | 150.55 | 48.38 | 166.10 | 150.55 | 48.38 | 0.00 | 0.81 | 3.46 | 0.00 | 0.81 | 3.46 |
| 6 | 166.10 | 150.65 | 48.24 | 166.10 | 150.65 | 48.24 | 166.10 | 149.26 | 50.14 | 166.10 | 149.26 | 50.14 | 0.00 | 0.99 | 3.79 | 0.00 | 0.99 | 3.79 |
| 7 | 166.10 | 149.22 | 50.18 | 166.10 | 149.22 | 50.18 | 166.10 | 149.39 | 49.96 | 166.10 | 149.39 | 49.96 | 0.00 | 2.62 | 5.87 | 0.00 | 2.62 | 5.87 |
| 8 | 166.10 | 149.46 | 49.87 | 166.10 | 149.46 | 49.87 | 166.10 | 149.36 | 50.01 | 166.10 | 149.36 | 50.01 | 0.00 | 5.02 | 7.37 | 0.00 | 5.02 | 7.37 |
| 9 | 166.10 | 150.52 | 48.43 | 166.10 | 150.52 | 48.43 | 166.10 | 148.66 | 50.92 | 166.10 | 148.66 | 50.92 | 0.00 | 7.13 | 7.90 | 0.00 | 7.13 | 7.90 |
| 10 | 166.10 | 149.82 | 49.38 | 166.10 | 149.82 | 49.38 | 166.10 | 150.02 | 49.11 | 166.10 | 150.02 | 49.11 | 0.00 | 7.58 | 7.92 | 0.00 | 7.58 | 7.92 |
| 11 | 166.10 | 151.42 | 47.15 | 166.10 | 151.42 | 47.15 | 166.10 | 148.06 | 51.68 | 166.10 | 148.06 | 51.68 | 0.00 | 7.74 | 7.94 | 0.00 | 7.74 | 7.94 |
| 12 | 166.10 | 148.56 | 51.05 | 166.10 | 148.56 | 51.05 | 166.10 | 149.52 | 49.79 | 166.10 | 149.52 | 49.79 | 0.00 | 7.70 | 7.96 | 0.00 | 7.70 | 7.96 |
| 13 | 166.10 | 149.49 | 49.83 | 166.10 | 149.49 | 49.83 | 166.10 | 148.86 | 50.66 | 166.10 | 148.86 | 50.66 | 0.00 | 7.70 | 7.95 | 0.00 | 7.70 | 7.95 |
| 14 | 166.10 | 150.02 | 49.11 | 166.10 | 150.02 | 49.11 | 166.10 | 149.66 | 49.61 | 166.10 | 149.66 | 49.61 | 0.00 | 7.52 | 7.93 | 0.00 | 7.52 | 7.93 |
| 15 | 166.10 | 150.05 | 49.07 | 166.10 | 150.05 | 49.07 | 166.10 | 149.46 | 49.87 | 166.10 | 149.46 | 49.87 | 0.00 | 7.58 | 7.93 | 0.00 | 7.58 | 7.93 |
| 16 | 166.10 | 149.42 | 49.92 | 166.10 | 149.42 | 49.92 | 166.10 | 148.23 | 51.47 | 166.10 | 148.23 | 51.47 | 0.00 | 9.69 | 7.77 | 0.00 | 9.69 | 7.77 |
| 17 | 166.10 | 149.46 | 49.87 | 166.10 | 149.46 | 49.87 | 166.10 | 148.99 | 50.49 | 166.10 | 148.99 | 50.49 | 0.00 | 11.42 | 7.21 | 0.00 | 11.42 | 7.21 |
| 18 | 166.10 | 150.69 | 48.19 | 166.10 | 150.69 | 48.19 | 166.10 | 149.72 | 49.52 | 166.10 | 149.72 | 49.52 | 0.00 | 10.88 | 7.44 | 0.00 | 10.88 | 7.44 |
| 19 | 166.10 | 149.66 | 49.61 | 166.10 | 149.66 | 49.61 | 166.10 | 150.09 | 49.02 | 166.10 | 150.09 | 49.02 | 0.00 | 8.74 | 7.91 | 0.00 | 8.74 | 7.91 |
| 20 | 166.10 | 149.56 | 49.74 | 166.10 | 149.56 | 49.74 | 166.10 | 149.22 | 50.18 | 166.10 | 149.22 | 50.18 | 0.00 | 6.54 | 7.81 | 0.00 | 6.54 | 7.81 |
| 21 | 166.10 | 148.73 | 50.83 | 166.10 | 148.73 | 50.83 | 166.10 | 149.56 | 49.74 | 166.10 | 149.56 | 49.74 | 0.00 | 4.45 | 7.12 | 0.00 | 4.45 | 7.12 |
| 22 | 166.10 | 149.02 | 50.44 | 166.10 | 149.02 | 50.44 | 166.10 | 149.26 | 50.14 | 166.10 | 149.26 | 50.14 | 0.00 | 2.16 | 5.42 | 0.00 | 2.16 | 5.42 |
| 23 | 166.10 | 149.42 | 49.92 | 166.10 | 149.42 | 49.92 | 166.10 | 148.76 | 50.79 | 166.10 | 148.76 | 50.79 | 0.00 | 0.62 | 3.04 | 0.00 | 0.62 | 3.04 |
| 24 | 166.10 | 149.82 | 49.38 | 166.10 | 149.82 | 49.38 | 166.10 | 149.96 | 49.20 | 166.10 | 149.96 | 49.20 | 0.00 | 0.88 | 3.59 | 0.00 | 0.88 | 3.59 |

Tabla IV.29. Potencia despachada (Mw). (Continuación)

| Hora | Unidad 4 | | | | | | Unidad 5 | | | | | | Unidad 6 | | | | | |
|------|----------|--------|-------|--------|--------|-------|----------|--------|-------|--------|--------|-------|----------|-------|------|--------|-------|------|
| | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 80.66 | 98.43 | 48.30 | 80.66 | 98.42 | 48.30 | 136.30 | 120.64 | 42.58 | 136.30 | 120.64 | 42.58 | 10.00 | 12.69 | 7.44 | 10.00 | 12.69 | 7.44 |
| 2 | 80.66 | 99.40 | 47.60 | 80.66 | 99.40 | 47.61 | 136.30 | 118.08 | 45.41 | 136.30 | 118.08 | 45.41 | 10.00 | 12.60 | 7.61 | 10.00 | 12.60 | 7.61 |
| 3 | 66.40 | 95.53 | 48.82 | 66.40 | 95.51 | 48.83 | 136.30 | 118.82 | 44.16 | 136.30 | 118.82 | 44.16 | 10.00 | 12.14 | 7.48 | 10.00 | 12.14 | 7.48 |
| 4 | 65.00 | 87.39 | 46.10 | 65.00 | 87.38 | 46.10 | 134.87 | 113.97 | 44.96 | 134.87 | 113.97 | 44.96 | 10.00 | 10.92 | 6.70 | 10.00 | 10.92 | 6.70 |
| 5 | 65.00 | 80.06 | 43.94 | 65.00 | 80.06 | 43.95 | 94.66 | 106.54 | 45.91 | 94.66 | 106.54 | 45.91 | 10.00 | 10.32 | 6.06 | 10.00 | 10.32 | 6.06 |
| 6 | 65.00 | 85.64 | 44.90 | 65.00 | 85.64 | 44.90 | 120.48 | 112.27 | 45.03 | 120.48 | 112.27 | 45.03 | 10.00 | 10.67 | 6.47 | 10.00 | 10.67 | 6.47 |
| 7 | 109.44 | 104.23 | 48.36 | 109.44 | 104.22 | 48.37 | 136.30 | 120.15 | 43.69 | 136.30 | 120.15 | 43.69 | 10.00 | 13.38 | 7.96 | 10.00 | 13.38 | 7.96 |
| 8 | 136.30 | 115.55 | 46.71 | 136.30 | 115.56 | 46.71 | 136.30 | 119.34 | 44.98 | 136.30 | 119.34 | 44.98 | 10.00 | 15.91 | 8.37 | 10.00 | 15.91 | 8.37 |
| 9 | 136.30 | 116.70 | 47.28 | 136.30 | 116.70 | 47.28 | 136.30 | 119.59 | 44.70 | 136.30 | 119.59 | 44.70 | 12.06 | 17.38 | 8.23 | 12.06 | 17.38 | 8.23 |
| 10 | 136.30 | 116.07 | 48.10 | 136.30 | 116.08 | 48.10 | 136.30 | 119.24 | 45.11 | 136.30 | 119.24 | 45.11 | 22.20 | 17.73 | 8.11 | 22.20 | 17.73 | 8.11 |
| 11 | 136.30 | 116.91 | 47.19 | 136.30 | 116.91 | 47.19 | 136.30 | 120.19 | 44.00 | 136.30 | 120.19 | 44.00 | 22.20 | 17.66 | 8.19 | 22.20 | 17.66 | 8.19 |
| 12 | 136.30 | 117.24 | 47.00 | 136.30 | 117.23 | 47.00 | 136.30 | 119.86 | 44.39 | 136.30 | 119.86 | 44.39 | 22.20 | 17.45 | 8.37 | 22.20 | 17.45 | 8.37 |
| 13 | 136.30 | 116.13 | 48.14 | 136.30 | 116.13 | 48.14 | 136.30 | 119.86 | 44.39 | 136.30 | 119.86 | 44.39 | 22.20 | 17.74 | 8.12 | 22.20 | 17.74 | 8.12 |
| 14 | 136.30 | 117.78 | 46.46 | 136.30 | 117.78 | 46.46 | 136.30 | 120.41 | 43.74 | 136.30 | 120.41 | 43.74 | 22.20 | 17.66 | 8.15 | 22.20 | 17.66 | 8.15 |
| 15 | 136.30 | 116.97 | 47.18 | 136.30 | 116.97 | 47.18 | 136.30 | 119.48 | 44.83 | 136.30 | 119.48 | 44.83 | 22.20 | 17.59 | 8.21 | 22.20 | 17.59 | 8.21 |
| 16 | 136.30 | 117.29 | 47.18 | 136.30 | 117.29 | 47.18 | 136.30 | 120.46 | 43.68 | 136.30 | 120.46 | 43.68 | 22.20 | 18.31 | 8.19 | 22.20 | 18.31 | 8.19 |
| 17 | 136.30 | 117.23 | 47.26 | 136.30 | 117.23 | 47.26 | 136.30 | 120.65 | 43.45 | 136.30 | 120.65 | 43.45 | 22.20 | 18.83 | 7.89 | 22.20 | 18.83 | 7.89 |
| 18 | 136.30 | 116.63 | 47.88 | 136.30 | 116.63 | 47.88 | 136.30 | 119.81 | 44.45 | 136.30 | 119.81 | 44.45 | 22.20 | 18.61 | 8.06 | 22.20 | 18.61 | 8.06 |
| 19 | 136.30 | 116.81 | 47.60 | 136.30 | 116.81 | 47.60 | 136.30 | 119.78 | 44.48 | 136.30 | 119.78 | 44.48 | 22.20 | 17.95 | 8.33 | 22.20 | 17.95 | 8.33 |
| 20 | 136.30 | 116.01 | 47.70 | 136.30 | 116.02 | 47.70 | 136.30 | 119.70 | 44.58 | 136.30 | 119.70 | 44.58 | 10.00 | 16.77 | 8.37 | 10.00 | 16.77 | 8.37 |
| 21 | 136.30 | 113.52 | 47.35 | 136.30 | 113.53 | 47.35 | 136.30 | 120.23 | 43.94 | 136.30 | 120.23 | 43.94 | 10.00 | 15.12 | 8.34 | 10.00 | 15.12 | 8.34 |
| 22 | 80.66 | 99.34 | 47.83 | 80.66 | 99.34 | 47.84 | 136.30 | 119.82 | 43.49 | 136.30 | 119.82 | 43.49 | 10.00 | 12.56 | 7.60 | 10.00 | 12.56 | 7.60 |
| 23 | 65.00 | 78.18 | 43.53 | 65.00 | 78.19 | 43.54 | 83.09 | 104.17 | 45.69 | 83.09 | 104.17 | 45.69 | 10.00 | 10.26 | 5.95 | 10.00 | 10.26 | 5.95 |
| 24 | 65.00 | 81.65 | 44.33 | 65.00 | 81.64 | 44.34 | 106.22 | 108.83 | 45.55 | 106.22 | 108.83 | 45.55 | 10.00 | 10.49 | 6.06 | 10.00 | 10.49 | 6.06 |

Tabla IV.30. Potencia despachada (Mw). (Continuación)

| Hora | Unidad 7 | | | | | | Unidad 8 | | | | | | Unidad 9 | | | | | |
|------|----------|-------|------|--------|-------|------|----------|-------|------|--------|-------|------|----------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 5.25 | 7.20 | 6.07 | 5.25 | 7.20 | 6.07 | 5.25 | 7.27 | 6.08 | 5.25 | 7.27 | 6.08 | 10.00 | 16.73 | 13.55 | 10.00 | 16.73 | 13.55 |
| 2 | 5.25 | 7.30 | 6.18 | 5.25 | 7.30 | 6.18 | 5.25 | 7.36 | 6.20 | 5.25 | 7.36 | 6.20 | 10.00 | 16.76 | 13.73 | 10.00 | 16.76 | 13.73 |
| 3 | 5.25 | 7.24 | 6.05 | 5.25 | 7.24 | 6.05 | 5.25 | 7.19 | 6.00 | 5.25 | 7.19 | 6.00 | 10.00 | 16.20 | 13.31 | 10.00 | 16.20 | 13.31 |
| 4 | 5.25 | 6.28 | 4.97 | 5.25 | 6.28 | 4.97 | 5.25 | 6.23 | 4.96 | 5.25 | 6.23 | 4.96 | 10.00 | 13.55 | 11.66 | 10.00 | 13.55 | 11.66 |
| 5 | 5.25 | 5.74 | 4.20 | 5.25 | 5.74 | 4.20 | 5.25 | 5.74 | 4.21 | 5.25 | 5.74 | 4.21 | 10.00 | 11.98 | 10.12 | 10.00 | 11.98 | 10.12 |
| 6 | 5.25 | 6.02 | 4.58 | 5.25 | 6.02 | 4.58 | 5.25 | 5.97 | 4.58 | 5.25 | 5.97 | 4.58 | 10.00 | 12.68 | 10.93 | 10.00 | 12.68 | 10.93 |
| 7 | 5.25 | 8.05 | 6.70 | 5.25 | 8.05 | 6.70 | 5.25 | 7.92 | 6.66 | 5.25 | 7.92 | 6.66 | 10.00 | 18.52 | 14.36 | 10.00 | 18.52 | 14.36 |
| 8 | 5.25 | 10.86 | 8.00 | 5.25 | 10.86 | 8.00 | 5.25 | 10.86 | 8.01 | 5.25 | 10.86 | 8.01 | 10.00 | 23.95 | 15.45 | 10.00 | 23.95 | 15.45 |
| 9 | 5.25 | 13.02 | 8.33 | 5.25 | 13.02 | 8.33 | 5.25 | 13.00 | 8.32 | 5.25 | 13.00 | 8.32 | 10.00 | 27.15 | 15.18 | 10.00 | 27.15 | 15.18 |
| 10 | 5.25 | 13.47 | 8.43 | 5.25 | 13.47 | 8.43 | 5.25 | 13.61 | 8.34 | 5.25 | 13.61 | 8.34 | 14.25 | 27.92 | 14.85 | 14.25 | 27.92 | 14.85 |
| 11 | 5.25 | 13.37 | 8.44 | 5.25 | 13.37 | 8.44 | 5.25 | 13.67 | 8.32 | 5.25 | 13.67 | 8.32 | 14.25 | 27.89 | 14.91 | 14.25 | 27.89 | 14.91 |
| 12 | 5.25 | 13.48 | 8.35 | 5.25 | 13.48 | 8.35 | 5.25 | 13.54 | 8.33 | 5.25 | 13.54 | 8.33 | 19.90 | 28.20 | 14.72 | 19.90 | 28.20 | 14.72 |
| 13 | 5.25 | 13.47 | 8.34 | 5.25 | 13.47 | 8.34 | 5.25 | 13.45 | 8.36 | 5.25 | 13.45 | 8.36 | 14.25 | 27.91 | 14.94 | 14.25 | 27.91 | 14.94 |
| 14 | 5.25 | 13.51 | 8.32 | 5.25 | 13.51 | 8.32 | 5.25 | 13.42 | 8.40 | 5.25 | 13.42 | 8.40 | 14.25 | 27.63 | 14.98 | 14.25 | 27.63 | 14.98 |
| 15 | 5.25 | 13.37 | 8.37 | 5.25 | 13.37 | 8.37 | 5.25 | 13.42 | 8.35 | 5.25 | 13.42 | 8.35 | 14.25 | 27.85 | 14.84 | 14.25 | 27.85 | 14.84 |
| 16 | 5.25 | 15.50 | 8.05 | 5.25 | 15.50 | 8.05 | 5.25 | 15.61 | 7.97 | 5.25 | 15.61 | 7.97 | 37.50 | 30.65 | 13.85 | 37.50 | 30.65 | 13.85 |
| 17 | 9.55 | 17.04 | 7.46 | 9.55 | 17.04 | 7.46 | 9.55 | 17.12 | 7.39 | 9.55 | 17.12 | 7.39 | 37.50 | 31.29 | 13.70 | 37.50 | 31.29 | 13.70 |
| 18 | 5.25 | 16.75 | 7.56 | 5.25 | 16.75 | 7.56 | 5.25 | 16.75 | 7.55 | 5.25 | 16.75 | 7.55 | 37.50 | 31.30 | 13.62 | 37.50 | 31.30 | 13.62 |
| 19 | 5.25 | 14.61 | 8.21 | 5.25 | 14.61 | 8.21 | 5.25 | 14.53 | 8.26 | 5.25 | 14.53 | 8.26 | 37.50 | 29.53 | 14.34 | 37.50 | 29.53 | 14.34 |
| 20 | 5.25 | 12.29 | 8.33 | 5.25 | 12.29 | 8.33 | 5.25 | 12.28 | 8.33 | 5.25 | 12.28 | 8.33 | 10.00 | 26.12 | 15.20 | 10.00 | 26.12 | 15.20 |
| 21 | 5.25 | 10.04 | 7.78 | 5.25 | 10.04 | 7.78 | 5.25 | 9.96 | 7.75 | 5.25 | 9.96 | 7.75 | 10.00 | 22.52 | 15.29 | 10.00 | 22.52 | 15.29 |
| 22 | 5.25 | 7.37 | 6.19 | 5.25 | 7.37 | 6.19 | 5.25 | 7.42 | 6.23 | 5.25 | 7.42 | 6.23 | 10.00 | 16.52 | 13.64 | 10.00 | 16.52 | 13.64 |
| 23 | 5.25 | 5.53 | 3.80 | 5.25 | 5.53 | 3.80 | 5.25 | 5.52 | 3.79 | 5.25 | 5.52 | 3.79 | 10.00 | 11.79 | 9.91 | 10.00 | 11.79 | 9.91 |
| 24 | 5.25 | 5.83 | 4.37 | 5.25 | 5.83 | 4.37 | 5.25 | 5.80 | 4.36 | 5.25 | 5.80 | 4.36 | 10.00 | 12.20 | 10.32 | 10.00 | 12.20 | 10.32 |

Tabla IV.31. Potencia despachada (Mw). (Continuación)

| Hora | Unidad 10 | | | | | | Unidad 11 | | | | | | Unidad 12 | | | | | |
|------|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 3.00 | 9.13 | 13.09 | 3.00 | 9.13 | 13.09 | 3.00 | 9.10 | 13.07 | 3.00 | 9.10 | 13.07 | 30.00 | 32.29 | 15.18 | 30.00 | 32.29 | 15.18 |
| 2 | 3.00 | 9.15 | 13.02 | 3.00 | 9.15 | 13.02 | 3.00 | 9.26 | 13.14 | 3.00 | 9.26 | 13.14 | 30.00 | 32.36 | 15.14 | 30.00 | 32.36 | 15.14 |
| 3 | 3.00 | 8.83 | 12.89 | 3.00 | 8.83 | 12.89 | 3.00 | 8.86 | 12.87 | 3.00 | 8.86 | 12.87 | 30.00 | 31.88 | 15.03 | 30.00 | 31.88 | 15.03 |
| 4 | 3.00 | 6.65 | 10.86 | 3.00 | 6.65 | 10.86 | 3.00 | 6.50 | 10.70 | 3.00 | 6.50 | 10.70 | 30.00 | 30.17 | 14.29 | 30.00 | 30.17 | 14.29 |
| 5 | 3.00 | 5.08 | 8.88 | 3.00 | 5.08 | 8.88 | 3.00 | 5.15 | 8.92 | 3.00 | 5.15 | 8.92 | 30.00 | 28.49 | 13.71 | 30.00 | 28.49 | 13.71 |
| 6 | 3.00 | 5.91 | 10.03 | 3.00 | 5.91 | 10.03 | 3.00 | 5.89 | 10.07 | 3.00 | 5.89 | 10.07 | 30.00 | 29.43 | 14.06 | 30.00 | 29.43 | 14.06 |
| 7 | 3.00 | 11.04 | 14.30 | 3.00 | 11.04 | 14.30 | 3.00 | 10.85 | 14.22 | 3.00 | 10.85 | 14.22 | 30.00 | 33.50 | 15.25 | 30.00 | 33.50 | 15.25 |
| 8 | 3.00 | 16.97 | 16.29 | 3.00 | 16.97 | 16.29 | 3.00 | 17.15 | 16.36 | 3.00 | 17.15 | 16.36 | 43.24 | 36.32 | 15.93 | 43.24 | 36.32 | 15.93 |
| 9 | 3.00 | 21.30 | 16.52 | 3.00 | 21.30 | 16.52 | 3.00 | 21.00 | 16.56 | 3.00 | 21.00 | 16.56 | 45.00 | 37.51 | 16.10 | 45.00 | 37.51 | 16.10 |
| 10 | 3.00 | 22.23 | 16.45 | 3.00 | 22.23 | 16.45 | 3.00 | 21.82 | 16.53 | 3.00 | 21.82 | 16.53 | 45.00 | 37.81 | 16.03 | 45.00 | 37.81 | 16.03 |
| 11 | 3.00 | 21.85 | 16.57 | 3.00 | 21.85 | 16.57 | 3.00 | 22.10 | 16.48 | 3.00 | 22.10 | 16.48 | 45.00 | 37.88 | 15.96 | 45.00 | 37.88 | 15.96 |
| 12 | 3.00 | 21.99 | 16.56 | 3.00 | 21.99 | 16.56 | 3.00 | 22.02 | 16.54 | 3.00 | 22.02 | 16.54 | 45.00 | 38.06 | 15.82 | 45.00 | 38.06 | 15.82 |
| 13 | 3.00 | 22.06 | 16.48 | 3.00 | 22.06 | 16.48 | 3.00 | 21.93 | 16.47 | 3.00 | 21.93 | 16.47 | 45.00 | 37.63 | 16.23 | 45.00 | 37.63 | 16.23 |
| 14 | 3.00 | 22.03 | 16.46 | 3.00 | 22.03 | 16.46 | 3.00 | 21.45 | 16.57 | 3.00 | 21.45 | 16.57 | 45.00 | 37.96 | 15.94 | 45.00 | 37.96 | 15.94 |
| 15 | 3.00 | 21.59 | 16.56 | 3.00 | 21.59 | 16.56 | 3.00 | 21.59 | 16.54 | 3.00 | 21.59 | 16.54 | 45.00 | 38.32 | 15.54 | 45.00 | 38.32 | 15.54 |
| 16 | 20.09 | 25.46 | 15.79 | 20.09 | 25.46 | 15.79 | 20.09 | 25.66 | 15.72 | 20.09 | 25.66 | 15.72 | 45.00 | 38.26 | 15.97 | 45.00 | 38.26 | 15.97 |
| 17 | 36.50 | 27.47 | 15.20 | 36.50 | 27.47 | 15.20 | 36.50 | 27.84 | 14.96 | 36.50 | 27.84 | 14.96 | 45.00 | 38.13 | 16.17 | 45.00 | 38.13 | 16.17 |
| 18 | 34.41 | 26.96 | 15.38 | 34.41 | 26.96 | 15.38 | 34.41 | 27.24 | 15.20 | 34.41 | 27.24 | 15.20 | 45.00 | 38.38 | 15.91 | 45.00 | 38.38 | 15.91 |
| 19 | 5.70 | 23.84 | 16.17 | 5.70 | 23.84 | 16.17 | 5.70 | 23.62 | 16.24 | 5.70 | 23.62 | 16.24 | 45.00 | 37.91 | 16.23 | 45.00 | 37.91 | 16.23 |
| 20 | 3.00 | 19.77 | 16.64 | 3.00 | 19.77 | 16.64 | 3.00 | 19.77 | 16.61 | 3.00 | 19.77 | 16.61 | 45.00 | 37.06 | 16.30 | 45.00 | 37.06 | 16.30 |
| 21 | 3.00 | 15.39 | 16.05 | 3.00 | 15.39 | 16.05 | 3.00 | 15.34 | 16.05 | 3.00 | 15.34 | 16.05 | 30.00 | 35.64 | 15.75 | 30.00 | 35.64 | 15.75 |
| 22 | 3.00 | 9.47 | 13.39 | 3.00 | 9.47 | 13.39 | 3.00 | 9.15 | 13.21 | 3.00 | 9.15 | 13.21 | 30.00 | 31.98 | 15.34 | 30.00 | 31.98 | 15.34 |
| 23 | 3.00 | 4.99 | 8.60 | 3.00 | 4.99 | 8.60 | 3.00 | 4.93 | 8.53 | 3.00 | 4.93 | 8.53 | 30.00 | 28.45 | 13.52 | 30.00 | 28.45 | 13.52 |
| 24 | 3.00 | 5.28 | 9.14 | 3.00 | 5.28 | 9.14 | 3.00 | 5.43 | 9.31 | 3.00 | 5.43 | 9.31 | 30.00 | 29.00 | 13.52 | 30.00 | 29.00 | 13.52 |

Tabla IV.32. Potencia despachada (Mw). (Continuación)

| Hora | Unidad 13 | | | | | | Unidad 14 | | | | | | Unidad 15 | | | | | |
|------|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 15.00 | 21.69 | 13.30 | 15.00 | 21.69 | 13.30 | 15.00 | 21.91 | 13.24 | 15.00 | 21.91 | 13.24 | 85.34 | 72.86 | 27.49 | 85.34 | 72.86 | 27.49 |
| 2 | 15.00 | 22.00 | 13.41 | 15.00 | 22.00 | 13.41 | 15.00 | 22.00 | 13.30 | 15.00 | 22.00 | 13.30 | 85.34 | 72.47 | 27.97 | 85.34 | 72.47 | 27.97 |
| 3 | 15.00 | 21.24 | 13.05 | 15.00 | 21.24 | 13.05 | 15.00 | 21.17 | 13.09 | 15.00 | 21.17 | 13.09 | 85.34 | 70.18 | 29.46 | 85.34 | 70.18 | 29.46 |
| 4 | 15.00 | 18.56 | 11.87 | 15.00 | 18.56 | 11.87 | 15.00 | 18.71 | 11.84 | 15.00 | 18.71 | 11.84 | 45.00 | 66.21 | 28.34 | 45.00 | 66.21 | 28.34 |
| 5 | 15.00 | 17.02 | 10.69 | 15.00 | 17.02 | 10.69 | 15.00 | 17.00 | 10.76 | 15.00 | 17.00 | 10.76 | 45.00 | 60.80 | 28.29 | 45.00 | 60.80 | 28.29 |
| 6 | 15.00 | 17.90 | 11.46 | 15.00 | 17.90 | 11.46 | 15.00 | 17.97 | 11.45 | 15.00 | 17.97 | 11.45 | 45.00 | 63.61 | 28.86 | 45.00 | 63.61 | 28.86 |
| 7 | 15.00 | 23.52 | 13.64 | 15.00 | 23.52 | 13.64 | 15.00 | 23.31 | 13.76 | 15.00 | 23.31 | 13.76 | 85.34 | 73.87 | 27.85 | 85.34 | 73.87 | 27.85 |
| 8 | 15.00 | 27.90 | 13.97 | 15.00 | 27.90 | 13.97 | 15.00 | 28.05 | 13.84 | 15.00 | 28.05 | 13.84 | 85.34 | 74.61 | 28.24 | 85.34 | 74.61 | 28.24 |
| 9 | 37.50 | 30.50 | 13.44 | 37.50 | 30.50 | 13.44 | 37.50 | 30.48 | 13.46 | 37.50 | 30.48 | 13.46 | 85.34 | 75.17 | 27.65 | 85.34 | 75.17 | 27.65 |
| 10 | 37.50 | 30.64 | 13.53 | 37.50 | 30.64 | 13.53 | 37.50 | 31.15 | 13.05 | 37.50 | 31.15 | 13.05 | 85.34 | 74.62 | 28.28 | 85.34 | 74.62 | 28.28 |
| 11 | 37.50 | 30.83 | 13.37 | 37.50 | 30.83 | 13.37 | 37.50 | 30.86 | 13.34 | 37.50 | 30.86 | 13.34 | 85.34 | 75.45 | 27.31 | 85.34 | 75.45 | 27.31 |
| 12 | 37.50 | 30.99 | 13.26 | 37.50 | 30.99 | 13.26 | 37.50 | 30.91 | 13.34 | 37.50 | 30.91 | 13.34 | 85.34 | 75.25 | 27.55 | 85.34 | 75.25 | 27.55 |
| 13 | 37.50 | 30.80 | 13.44 | 37.50 | 30.80 | 13.44 | 37.50 | 30.83 | 13.42 | 37.50 | 30.83 | 13.42 | 85.34 | 74.60 | 28.30 | 85.34 | 74.60 | 28.30 |
| 14 | 37.50 | 30.85 | 13.37 | 37.50 | 30.85 | 13.37 | 37.50 | 31.10 | 13.16 | 37.50 | 31.10 | 13.16 | 85.34 | 74.41 | 28.51 | 85.34 | 74.41 | 28.51 |
| 15 | 37.50 | 30.63 | 13.49 | 37.50 | 30.63 | 13.49 | 37.50 | 30.56 | 13.55 | 37.50 | 30.56 | 13.55 | 85.34 | 75.06 | 27.77 | 85.34 | 75.06 | 27.77 |
| 16 | 37.50 | 32.18 | 12.81 | 37.50 | 32.18 | 12.81 | 37.50 | 31.74 | 13.26 | 37.50 | 31.74 | 13.26 | 85.34 | 75.24 | 27.57 | 85.34 | 75.24 | 27.57 |
| 17 | 37.50 | 32.23 | 12.97 | 37.50 | 32.23 | 12.97 | 37.50 | 32.11 | 13.09 | 37.50 | 32.11 | 13.09 | 85.34 | 74.96 | 27.89 | 85.34 | 74.96 | 27.89 |
| 18 | 37.50 | 32.19 | 12.95 | 37.50 | 32.19 | 12.95 | 37.50 | 32.16 | 12.99 | 37.50 | 32.16 | 12.99 | 85.34 | 75.41 | 27.37 | 85.34 | 75.41 | 27.37 |
| 19 | 37.50 | 31.57 | 13.23 | 37.50 | 31.57 | 13.23 | 37.50 | 31.75 | 13.04 | 37.50 | 31.75 | 13.04 | 85.34 | 75.29 | 27.51 | 85.34 | 75.29 | 27.51 |
| 20 | 31.33 | 29.62 | 13.71 | 31.33 | 29.62 | 13.71 | 31.33 | 29.50 | 13.74 | 31.33 | 29.50 | 13.74 | 85.34 | 74.80 | 28.07 | 85.34 | 74.80 | 28.07 |
| 21 | 15.00 | 26.88 | 13.85 | 15.00 | 26.88 | 13.85 | 15.00 | 26.59 | 14.06 | 15.00 | 26.59 | 14.06 | 85.34 | 75.38 | 27.25 | 85.34 | 75.38 | 27.25 |
| 22 | 15.00 | 21.65 | 13.27 | 15.00 | 21.65 | 13.27 | 15.00 | 21.99 | 13.20 | 15.00 | 21.99 | 13.20 | 85.34 | 72.85 | 27.49 | 85.34 | 72.85 | 27.49 |
| 23 | 15.00 | 16.90 | 10.48 | 15.00 | 16.90 | 10.48 | 15.00 | 16.85 | 10.47 | 15.00 | 16.85 | 10.47 | 45.00 | 60.27 | 27.65 | 45.00 | 60.27 | 27.65 |
| 24 | 15.00 | 17.33 | 11.01 | 15.00 | 17.33 | 11.01 | 15.00 | 17.30 | 10.99 | 15.00 | 17.30 | 10.99 | 45.00 | 61.85 | 28.33 | 45.00 | 61.85 | 28.33 |

Tabla IV.33. Potencia despachada (Mw). (Continuación)

| Hora | Unidad 16 | | | | | | Unidad 17 | | | | | | Unidad 18 | | | | | |
|------|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|-----------|--------|-------|--------|--------|-------|-----------|--------|-------|--------|--------|-------|
| | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | | F.O.I | | | F.O.II | | |
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 45.00 | 63.97 | 27.90 | 45.00 | 63.97 | 27.89 | 128.25 | 109.04 | 45.74 | 128.25 | 109.04 | 45.74 | 130.25 | 117.85 | 38.23 | 130.25 | 117.85 | 38.23 |
| 2 | 45.00 | 64.68 | 27.66 | 45.00 | 64.68 | 27.65 | 128.25 | 108.89 | 45.89 | 128.25 | 108.89 | 45.89 | 130.25 | 116.52 | 40.00 | 130.25 | 116.52 | 40.00 |
| 3 | 45.00 | 63.58 | 27.63 | 45.00 | 63.59 | 27.62 | 128.25 | 108.89 | 45.86 | 128.25 | 108.89 | 45.86 | 130.25 | 117.12 | 39.21 | 130.25 | 117.12 | 39.21 |
| 4 | 45.00 | 58.14 | 26.53 | 45.00 | 58.15 | 26.52 | 128.25 | 109.04 | 45.40 | 128.25 | 109.04 | 45.40 | 130.25 | 117.25 | 39.01 | 130.25 | 117.25 | 39.01 |
| 5 | 45.00 | 54.15 | 25.07 | 45.00 | 54.15 | 25.06 | 128.25 | 106.79 | 46.18 | 128.25 | 106.79 | 46.18 | 130.25 | 116.62 | 39.62 | 130.25 | 116.62 | 39.62 |
| 6 | 45.00 | 56.66 | 26.07 | 45.00 | 56.66 | 26.06 | 128.25 | 109.03 | 44.99 | 128.25 | 109.03 | 44.99 | 130.25 | 116.98 | 39.29 | 130.25 | 116.98 | 39.29 |
| 7 | 45.00 | 67.44 | 27.70 | 45.00 | 67.44 | 27.69 | 128.25 | 109.44 | 45.36 | 128.25 | 109.44 | 45.36 | 130.25 | 118.03 | 37.97 | 130.25 | 118.03 | 37.97 |
| 8 | 85.46 | 75.03 | 25.58 | 85.46 | 75.02 | 25.58 | 128.25 | 108.09 | 46.68 | 128.25 | 108.09 | 46.68 | 130.25 | 117.59 | 38.58 | 130.25 | 117.59 | 38.58 |
| 9 | 85.46 | 76.39 | 25.70 | 85.46 | 76.39 | 25.70 | 128.25 | 108.47 | 46.32 | 128.25 | 108.47 | 46.32 | 130.25 | 117.38 | 38.87 | 130.25 | 117.38 | 38.87 |
| 10 | 85.46 | 76.50 | 25.77 | 85.46 | 76.50 | 25.77 | 128.25 | 109.60 | 45.21 | 128.25 | 109.60 | 45.21 | 130.25 | 116.47 | 40.06 | 130.25 | 116.47 | 40.06 |
| 11 | 85.46 | 76.34 | 25.95 | 85.46 | 76.34 | 25.95 | 128.25 | 109.50 | 45.31 | 128.25 | 109.50 | 45.31 | 130.25 | 116.96 | 39.42 | 130.25 | 116.96 | 39.42 |
| 12 | 85.46 | 76.97 | 25.18 | 85.46 | 76.98 | 25.18 | 128.25 | 109.50 | 45.31 | 128.25 | 109.50 | 45.31 | 130.25 | 117.88 | 38.19 | 130.25 | 117.88 | 38.19 |
| 13 | 85.46 | 76.65 | 25.54 | 85.46 | 76.65 | 25.54 | 128.25 | 109.12 | 45.69 | 128.25 | 109.12 | 45.69 | 130.25 | 117.09 | 39.25 | 130.25 | 117.09 | 39.25 |
| 14 | 85.46 | 76.38 | 26.03 | 85.46 | 76.38 | 26.03 | 128.25 | 109.24 | 45.57 | 128.25 | 109.24 | 45.57 | 130.25 | 117.85 | 38.23 | 130.25 | 117.85 | 38.23 |
| 15 | 85.46 | 77.17 | 24.91 | 85.46 | 77.16 | 24.91 | 128.25 | 109.37 | 45.44 | 128.25 | 109.37 | 45.44 | 130.25 | 117.07 | 39.28 | 130.25 | 117.07 | 39.28 |
| 16 | 85.46 | 76.77 | 25.78 | 85.46 | 76.77 | 25.78 | 128.25 | 108.73 | 46.07 | 128.25 | 108.73 | 46.07 | 130.25 | 118.61 | 37.16 | 130.25 | 118.61 | 37.16 |
| 17 | 85.46 | 76.85 | 25.73 | 85.46 | 76.85 | 25.73 | 128.25 | 109.47 | 45.34 | 128.25 | 109.47 | 45.34 | 130.25 | 116.57 | 39.93 | 130.25 | 116.57 | 39.93 |
| 18 | 85.46 | 76.84 | 25.71 | 85.46 | 76.84 | 25.71 | 128.25 | 109.06 | 45.74 | 128.25 | 109.06 | 45.74 | 130.25 | 117.51 | 38.69 | 130.25 | 117.51 | 38.69 |
| 19 | 85.46 | 77.10 | 25.25 | 85.46 | 77.10 | 25.25 | 128.25 | 108.58 | 46.22 | 128.25 | 108.58 | 46.22 | 130.25 | 118.21 | 37.72 | 130.25 | 118.21 | 37.72 |
| 20 | 85.46 | 75.61 | 26.36 | 85.46 | 75.61 | 26.36 | 128.25 | 108.70 | 46.09 | 128.25 | 108.70 | 46.09 | 130.25 | 117.49 | 38.73 | 130.25 | 117.49 | 38.73 |
| 21 | 75.70 | 73.62 | 26.08 | 75.70 | 73.62 | 26.07 | 128.25 | 108.94 | 45.87 | 128.25 | 108.94 | 45.87 | 130.25 | 117.20 | 39.11 | 130.25 | 117.20 | 39.11 |
| 22 | 45.00 | 64.83 | 27.34 | 45.00 | 64.83 | 27.33 | 128.25 | 109.35 | 45.44 | 128.25 | 109.35 | 45.44 | 130.25 | 116.85 | 39.56 | 130.25 | 116.85 | 39.56 |
| 23 | 45.00 | 53.00 | 25.00 | 45.00 | 52.99 | 24.98 | 128.25 | 107.43 | 44.80 | 128.25 | 107.43 | 44.80 | 130.25 | 116.58 | 39.54 | 130.25 | 116.58 | 39.54 |
| 24 | 45.00 | 55.06 | 25.37 | 45.00 | 55.06 | 25.37 | 128.25 | 108.96 | 44.54 | 128.25 | 108.96 | 44.54 | 130.25 | 117.72 | 38.24 | 130.25 | 117.72 | 38.24 |

En el caso de la F.O.I (2), los resultados de potencia despachada total son los siguientes:

Tabla IV.34. Potencia despachada (Mw) F.O.I (2)

| H | Unidad 1 | | | Unidad 2 | | | Unidad 3 | | | Unidad 4 | | | Unidad 5 | | | Unidad 6 | | |
|----|----------|--------|-------|----------|--------|-------|----------|-------|------|----------|--------|-------|----------|--------|-------|----------|-------|------|
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 166.10 | 149.29 | 50.09 | 166.10 | 149.72 | 49.52 | 0.00 | 2.05 | 5.29 | 65.00 | 96.41 | 48.01 | 136.30 | 119.88 | 42.48 | 10.00 | 12.32 | 7.26 |
| 2 | 166.10 | 149.89 | 49.29 | 166.10 | 149.56 | 49.74 | 0.00 | 2.13 | 5.39 | 65.00 | 97.56 | 47.35 | 136.30 | 117.36 | 45.31 | 10.00 | 12.21 | 7.42 |
| 3 | 166.10 | 149.72 | 49.52 | 166.10 | 149.86 | 49.34 | 0.00 | 1.96 | 5.18 | 65.00 | 93.75 | 48.44 | 136.30 | 117.85 | 43.99 | 10.00 | 11.80 | 7.28 |
| 4 | 166.10 | 149.66 | 49.61 | 166.10 | 150.05 | 49.07 | 0.00 | 1.19 | 4.15 | 65.00 | 85.82 | 45.54 | 112.46 | 112.43 | 44.31 | 10.00 | 10.67 | 6.49 |
| 5 | 166.10 | 149.59 | 49.70 | 166.10 | 150.55 | 48.38 | 0.00 | 0.81 | 3.46 | 65.00 | 78.70 | 43.13 | 104.61 | 105.17 | 44.65 | 10.00 | 10.13 | 5.87 |
| 6 | 166.10 | 150.65 | 48.24 | 166.10 | 149.26 | 50.14 | 0.00 | 0.99 | 3.79 | 65.00 | 84.06 | 44.22 | 104.61 | 110.45 | 44.20 | 10.00 | 10.42 | 6.24 |
| 7 | 166.10 | 149.22 | 50.18 | 166.10 | 149.39 | 49.96 | 0.00 | 2.62 | 5.87 | 86.96 | 102.52 | 48.14 | 136.30 | 119.80 | 43.64 | 10.00 | 12.98 | 7.80 |
| 8 | 166.10 | 149.46 | 49.87 | 166.10 | 149.36 | 50.01 | 0.00 | 5.02 | 7.37 | 136.30 | 114.94 | 46.69 | 136.30 | 119.33 | 44.98 | 10.00 | 15.56 | 8.36 |
| 9 | 166.10 | 150.52 | 48.43 | 166.10 | 148.66 | 50.92 | 0.00 | 7.13 | 7.90 | 136.30 | 116.57 | 47.26 | 136.30 | 119.59 | 44.70 | 10.00 | 17.06 | 8.26 |
| 10 | 166.10 | 149.82 | 49.38 | 166.10 | 150.02 | 49.11 | 0.00 | 7.58 | 7.92 | 136.30 | 116.00 | 48.09 | 136.30 | 119.24 | 45.11 | 11.17 | 17.37 | 8.17 |
| 11 | 166.10 | 151.42 | 47.15 | 166.10 | 148.06 | 51.68 | 0.00 | 7.74 | 7.94 | 136.30 | 116.82 | 47.19 | 136.30 | 120.19 | 44.00 | 11.17 | 17.34 | 8.24 |
| 12 | 166.10 | 148.56 | 51.05 | 166.10 | 149.52 | 49.79 | 0.00 | 7.70 | 7.96 | 136.30 | 117.17 | 46.99 | 136.30 | 119.86 | 44.39 | 16.82 | 17.12 | 8.41 |
| 13 | 166.10 | 149.49 | 49.83 | 166.10 | 148.86 | 50.66 | 0.00 | 7.70 | 7.95 | 136.30 | 116.02 | 48.11 | 136.30 | 119.86 | 44.39 | 11.17 | 17.42 | 8.18 |
| 14 | 166.10 | 150.02 | 49.11 | 166.10 | 149.66 | 49.61 | 0.00 | 7.52 | 7.93 | 136.30 | 117.72 | 46.46 | 136.30 | 120.41 | 43.74 | 11.17 | 17.33 | 8.21 |
| 15 | 166.10 | 150.05 | 49.07 | 166.10 | 149.46 | 49.87 | 0.00 | 7.58 | 7.93 | 136.30 | 116.89 | 47.17 | 136.30 | 119.48 | 44.83 | 11.17 | 17.26 | 8.25 |
| 16 | 166.10 | 149.42 | 49.92 | 166.10 | 148.23 | 51.47 | 0.00 | 9.69 | 7.77 | 136.30 | 117.29 | 47.17 | 136.30 | 120.46 | 43.68 | 22.20 | 18.14 | 8.23 |
| 17 | 166.10 | 149.46 | 49.87 | 166.10 | 148.99 | 50.49 | 0.00 | 11.42 | 7.21 | 136.30 | 117.23 | 47.26 | 136.30 | 120.65 | 43.45 | 22.20 | 18.75 | 7.91 |
| 18 | 166.10 | 150.69 | 48.19 | 166.10 | 149.72 | 49.52 | 0.00 | 10.88 | 7.44 | 136.30 | 116.63 | 47.88 | 136.30 | 119.81 | 44.45 | 22.20 | 18.53 | 8.08 |
| 19 | 166.10 | 149.66 | 49.61 | 166.10 | 150.09 | 49.02 | 0.00 | 8.74 | 7.91 | 136.30 | 116.78 | 47.60 | 136.30 | 119.78 | 44.48 | 22.20 | 17.69 | 8.38 |
| 20 | 166.10 | 149.56 | 49.74 | 166.10 | 149.22 | 50.18 | 0.00 | 6.54 | 7.81 | 136.30 | 115.78 | 47.68 | 136.30 | 119.70 | 44.58 | 10.00 | 16.40 | 8.40 |
| 21 | 166.10 | 148.73 | 50.83 | 166.10 | 149.56 | 49.74 | 0.00 | 4.45 | 7.12 | 136.30 | 112.58 | 47.27 | 136.30 | 120.19 | 43.93 | 10.00 | 14.75 | 8.29 |
| 22 | 166.10 | 149.02 | 50.44 | 166.10 | 149.26 | 50.14 | 0.00 | 2.16 | 5.42 | 65.00 | 97.36 | 47.58 | 136.30 | 119.04 | 43.38 | 10.00 | 12.19 | 7.42 |
| 23 | 166.10 | 149.42 | 49.92 | 166.10 | 148.76 | 50.79 | 0.00 | 0.62 | 3.04 | 65.00 | 76.85 | 42.56 | 104.61 | 103.14 | 44.41 | 10.00 | 10.09 | 5.77 |
| 24 | 166.10 | 149.82 | 49.38 | 166.10 | 149.96 | 49.20 | 0.00 | 0.88 | 3.59 | 65.00 | 80.12 | 43.48 | 104.61 | 107.04 | 44.51 | 10.00 | 10.27 | 5.86 |

Tabla IV.35. Potencia despachada (Mw) F.O.I (2). (Continuación)

| H | Unidad 7 | | | Unidad 8 | | | Unidad 9 | | | Unidad 10 | | | Unidad 11 | | | Unidad 12 | | |
|----|----------|-------|------|----------|-------|------|----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 5.25 | 7.20 | 6.07 | 5.25 | 7.27 | 6.08 | 10.00 | 16.99 | 12.81 | 3.00 | 9.48 | 13.15 | 3.00 | 9.49 | 13.14 | 30.00 | 32.29 | 15.18 |
| 2 | 5.25 | 7.30 | 6.18 | 5.25 | 7.36 | 6.20 | 10.00 | 17.00 | 12.96 | 3.00 | 9.54 | 13.11 | 3.00 | 9.63 | 13.22 | 30.00 | 32.36 | 15.14 |
| 3 | 5.25 | 7.24 | 6.05 | 5.25 | 7.19 | 6.00 | 10.00 | 16.51 | 12.70 | 3.00 | 9.14 | 12.95 | 3.00 | 9.16 | 12.94 | 30.00 | 31.88 | 15.03 |
| 4 | 5.25 | 6.28 | 4.97 | 5.25 | 6.23 | 4.96 | 10.00 | 13.73 | 11.14 | 3.00 | 6.89 | 10.97 | 3.00 | 6.74 | 10.81 | 30.00 | 30.17 | 14.29 |
| 5 | 5.25 | 5.74 | 4.20 | 5.25 | 5.74 | 4.21 | 10.00 | 12.21 | 9.76 | 3.00 | 5.26 | 9.00 | 3.00 | 5.32 | 9.05 | 30.00 | 28.49 | 13.71 |
| 6 | 5.25 | 6.02 | 4.58 | 5.25 | 5.97 | 4.58 | 10.00 | 12.96 | 10.55 | 3.00 | 6.12 | 10.16 | 3.00 | 6.09 | 10.19 | 30.00 | 29.43 | 14.06 |
| 7 | 5.25 | 8.05 | 6.70 | 5.25 | 7.92 | 6.66 | 10.00 | 18.71 | 13.50 | 3.00 | 11.49 | 14.31 | 3.00 | 11.26 | 14.24 | 30.00 | 33.50 | 15.25 |
| 8 | 5.25 | 10.86 | 8.00 | 5.25 | 10.86 | 8.01 | 10.00 | 23.94 | 14.60 | 3.00 | 17.47 | 16.15 | 3.00 | 17.60 | 16.22 | 43.24 | 36.32 | 15.93 |
| 9 | 5.25 | 13.02 | 8.33 | 5.25 | 13.00 | 8.32 | 25.28 | 27.04 | 14.39 | 3.00 | 21.77 | 16.26 | 3.00 | 21.47 | 16.30 | 45.00 | 37.51 | 16.10 |
| 10 | 5.25 | 13.47 | 8.43 | 5.25 | 13.61 | 8.34 | 25.28 | 27.96 | 14.06 | 3.00 | 22.63 | 16.20 | 3.00 | 22.23 | 16.30 | 45.00 | 37.81 | 16.03 |
| 11 | 5.25 | 13.37 | 8.44 | 5.25 | 13.67 | 8.32 | 25.28 | 27.89 | 14.15 | 3.00 | 22.26 | 16.32 | 3.00 | 22.51 | 16.24 | 45.00 | 37.88 | 15.96 |
| 12 | 5.25 | 13.48 | 8.35 | 5.25 | 13.54 | 8.33 | 25.28 | 28.17 | 13.95 | 3.00 | 22.41 | 16.29 | 3.00 | 22.43 | 16.28 | 45.00 | 38.06 | 15.82 |
| 13 | 5.25 | 13.47 | 8.34 | 5.25 | 13.45 | 8.36 | 25.28 | 27.87 | 14.15 | 3.00 | 22.49 | 16.22 | 3.00 | 22.36 | 16.23 | 45.00 | 37.63 | 16.23 |
| 14 | 5.25 | 13.51 | 8.32 | 5.25 | 13.42 | 8.40 | 25.28 | 27.70 | 14.12 | 3.00 | 22.46 | 16.21 | 3.00 | 21.89 | 16.33 | 45.00 | 37.96 | 15.94 |
| 15 | 5.25 | 13.37 | 8.37 | 5.25 | 13.42 | 8.35 | 25.28 | 27.84 | 14.05 | 3.00 | 22.01 | 16.32 | 3.00 | 22.01 | 16.30 | 45.00 | 38.32 | 15.54 |
| 16 | 5.25 | 15.50 | 8.05 | 5.25 | 15.61 | 7.97 | 34.45 | 30.42 | 13.45 | 21.61 | 25.77 | 15.53 | 21.61 | 25.97 | 15.45 | 45.00 | 38.26 | 15.97 |
| 17 | 9.55 | 17.04 | 7.46 | 9.55 | 17.12 | 7.39 | 37.50 | 31.15 | 13.52 | 36.50 | 27.62 | 15.05 | 36.50 | 27.99 | 14.81 | 45.00 | 38.13 | 16.17 |
| 18 | 5.25 | 16.75 | 7.56 | 5.25 | 16.75 | 7.55 | 37.50 | 31.08 | 13.45 | 34.41 | 27.15 | 15.21 | 34.41 | 27.45 | 15.01 | 45.00 | 38.38 | 15.91 |
| 19 | 5.25 | 14.61 | 8.21 | 5.25 | 14.53 | 8.26 | 25.28 | 29.37 | 13.73 | 11.81 | 24.24 | 15.88 | 11.81 | 23.99 | 15.98 | 45.00 | 37.91 | 16.23 |
| 20 | 5.25 | 12.29 | 8.33 | 5.25 | 12.28 | 8.33 | 17.67 | 26.24 | 14.32 | 3.00 | 20.20 | 16.44 | 3.00 | 20.20 | 16.41 | 45.00 | 37.06 | 16.30 |
| 21 | 5.25 | 10.04 | 7.78 | 5.25 | 9.96 | 7.75 | 10.00 | 22.64 | 14.43 | 3.00 | 15.84 | 15.95 | 3.00 | 15.78 | 15.96 | 30.00 | 35.64 | 15.75 |
| 22 | 5.25 | 7.37 | 6.19 | 5.25 | 7.42 | 6.23 | 10.00 | 16.78 | 12.95 | 3.00 | 9.82 | 13.45 | 3.00 | 9.50 | 13.27 | 30.00 | 31.98 | 15.34 |
| 23 | 5.25 | 5.53 | 3.80 | 5.25 | 5.52 | 3.79 | 10.00 | 11.84 | 9.40 | 3.00 | 5.18 | 8.76 | 3.00 | 5.12 | 8.69 | 30.00 | 28.45 | 13.52 |
| 24 | 5.25 | 5.83 | 4.37 | 5.25 | 5.80 | 4.36 | 10.00 | 12.44 | 9.96 | 3.00 | 5.47 | 9.28 | 3.00 | 5.60 | 9.43 | 30.00 | 29.00 | 13.52 |

Tabla IV.36. Potencia despachada (Mw) F.O.I (2). (Continuación)

| H | Unidad 13 | | | Unidad 14 | | | Unidad 15 | | | Unidad 16 | | | Unidad 17 | | | Unidad 18 | | |
|----|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|--------|-------|-----------|--------|-------|
| | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | | Det. | Est. | |
| | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] | | E[P] | S[P] |
| 1 | 15.00 | 21.39 | 13.05 | 15.00 | 21.59 | 12.98 | 85.34 | 73.68 | 27.02 | 60.66 | 65.98 | 26.84 | 128.25 | 108.99 | 45.73 | 130.25 | 117.84 | 38.23 |
| 2 | 15.00 | 21.69 | 13.16 | 15.00 | 21.70 | 13.06 | 85.34 | 73.25 | 27.54 | 60.66 | 66.51 | 26.57 | 128.25 | 108.86 | 45.88 | 130.25 | 116.50 | 39.99 |
| 3 | 15.00 | 20.96 | 12.80 | 15.00 | 20.87 | 12.83 | 85.34 | 71.24 | 28.96 | 46.40 | 65.35 | 26.68 | 128.25 | 108.83 | 45.85 | 130.25 | 117.09 | 39.21 |
| 4 | 15.00 | 18.35 | 11.62 | 15.00 | 18.50 | 11.60 | 67.41 | 68.25 | 27.55 | 45.00 | 59.71 | 26.06 | 128.25 | 108.73 | 45.31 | 130.25 | 117.07 | 39.00 |
| 5 | 15.00 | 16.82 | 10.39 | 15.00 | 16.80 | 10.48 | 45.00 | 63.24 | 27.79 | 45.00 | 55.51 | 24.78 | 118.30 | 106.29 | 45.84 | 130.25 | 116.04 | 39.61 |
| 6 | 15.00 | 17.69 | 11.18 | 15.00 | 17.75 | 11.17 | 60.87 | 66.01 | 28.16 | 45.00 | 58.23 | 25.65 | 128.25 | 108.66 | 44.86 | 130.25 | 116.77 | 39.28 |
| 7 | 15.00 | 23.19 | 13.43 | 15.00 | 22.98 | 13.53 | 85.34 | 74.24 | 27.63 | 67.48 | 69.15 | 26.52 | 128.25 | 109.42 | 45.36 | 130.25 | 118.03 | 37.97 |
| 8 | 15.00 | 27.62 | 13.88 | 15.00 | 27.75 | 13.74 | 85.34 | 74.62 | 28.24 | 85.46 | 75.64 | 24.99 | 128.25 | 108.09 | 46.68 | 130.25 | 117.59 | 38.58 |
| 9 | 30.89 | 30.25 | 13.39 | 30.89 | 30.22 | 13.42 | 85.34 | 75.17 | 27.65 | 85.46 | 76.51 | 25.55 | 128.25 | 108.47 | 46.32 | 130.25 | 117.38 | 38.87 |
| 10 | 37.50 | 30.39 | 13.49 | 37.50 | 30.91 | 13.02 | 85.34 | 74.62 | 28.28 | 85.46 | 76.58 | 25.69 | 128.25 | 109.60 | 45.21 | 130.25 | 116.47 | 40.06 |
| 11 | 37.50 | 30.59 | 13.33 | 37.50 | 30.61 | 13.31 | 85.34 | 75.45 | 27.31 | 85.46 | 76.43 | 25.85 | 128.25 | 109.50 | 45.31 | 130.25 | 116.96 | 39.42 |
| 12 | 37.50 | 30.75 | 13.23 | 37.50 | 30.67 | 13.30 | 85.34 | 75.25 | 27.55 | 85.46 | 77.04 | 25.11 | 128.25 | 109.50 | 45.31 | 130.25 | 117.88 | 38.19 |
| 13 | 37.50 | 30.55 | 13.40 | 37.50 | 30.56 | 13.38 | 85.34 | 74.60 | 28.30 | 85.46 | 76.77 | 25.44 | 128.25 | 109.12 | 45.69 | 130.25 | 117.09 | 39.25 |
| 14 | 37.50 | 30.55 | 13.33 | 37.50 | 30.80 | 13.12 | 85.34 | 74.41 | 28.51 | 85.46 | 76.44 | 25.97 | 128.25 | 109.24 | 45.57 | 130.25 | 117.85 | 38.23 |
| 15 | 37.50 | 30.37 | 13.45 | 37.50 | 30.31 | 13.51 | 85.34 | 75.06 | 27.77 | 85.46 | 77.25 | 24.81 | 128.25 | 109.37 | 45.44 | 130.25 | 117.07 | 39.28 |
| 16 | 37.50 | 32.08 | 12.81 | 37.50 | 31.63 | 13.25 | 85.34 | 75.24 | 27.57 | 85.46 | 76.78 | 25.77 | 128.25 | 108.73 | 46.07 | 130.25 | 118.61 | 37.16 |
| 17 | 37.50 | 32.18 | 12.97 | 37.50 | 32.07 | 13.09 | 85.34 | 74.96 | 27.89 | 85.46 | 76.85 | 25.73 | 128.25 | 109.47 | 45.34 | 130.25 | 116.57 | 39.93 |
| 18 | 37.50 | 32.15 | 12.95 | 37.50 | 32.12 | 12.99 | 85.34 | 75.41 | 27.37 | 85.46 | 76.84 | 25.70 | 128.25 | 109.06 | 45.74 | 130.25 | 117.51 | 38.69 |
| 19 | 37.50 | 31.40 | 13.21 | 37.50 | 31.57 | 13.02 | 85.34 | 75.29 | 27.51 | 85.46 | 77.13 | 25.22 | 128.25 | 108.58 | 46.22 | 130.25 | 118.21 | 37.72 |
| 20 | 27.50 | 29.31 | 13.64 | 27.50 | 29.20 | 13.67 | 85.34 | 74.80 | 28.07 | 85.46 | 75.85 | 26.14 | 128.25 | 108.70 | 46.09 | 130.25 | 117.49 | 38.73 |
| 21 | 15.00 | 26.56 | 13.72 | 15.00 | 26.27 | 13.92 | 85.34 | 75.43 | 27.22 | 75.70 | 74.57 | 25.20 | 128.25 | 108.94 | 45.87 | 130.25 | 117.20 | 39.11 |
| 22 | 15.00 | 21.35 | 13.02 | 15.00 | 21.70 | 12.96 | 85.34 | 73.69 | 27.01 | 60.66 | 66.82 | 26.21 | 128.25 | 109.32 | 45.43 | 130.25 | 116.83 | 39.56 |
| 23 | 15.00 | 16.77 | 10.29 | 15.00 | 16.72 | 10.26 | 45.00 | 62.53 | 27.19 | 45.00 | 54.33 | 24.75 | 106.73 | 106.93 | 44.40 | 130.25 | 115.85 | 39.51 |
| 24 | 15.00 | 17.13 | 10.75 | 15.00 | 17.11 | 10.72 | 46.61 | 64.37 | 27.71 | 45.00 | 56.58 | 25.06 | 128.25 | 108.61 | 44.32 | 130.25 | 117.33 | 38.23 |

Las emisiones resultantes y permisos de emisión en el periodo de 24 horas son:

Tabla IV.37. Emisiones en el período (Ton)

| Unidad | NP _i | Función Objetivo I | | | Función Objetivo II | | | Función Objetivo I (2) | | |
|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| | | Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | |
| | | | E[E _m] | S[E _m] | | E[E _m] | S[E _m] | | E[E _m] | S[E _m] |
| U ₁ | 15.42 | 8.76 | 7.90 | 0.53 | 8.76 | 7.90 | 0.53 | 8.76 | 7.90 | 0.53 |
| U ₂ | 15.42 | 8.76 | 7.88 | 0.54 | 8.76 | 7.88 | 0.54 | 8.76 | 7.88 | 0.54 |
| U ₃ | 1.99 | 1.24 | 1.14 | 0.10 | 1.24 | 1.14 | 0.10 | 1.24 | 1.14 | 0.10 |
| U ₄ | 10.12 | 11.34 | 10.46 | 0.90 | 11.34 | 10.46 | 0.90 | 11.15 | 10.41 | 0.90 |
| U ₅ | 14.06 | 12.63 | 11.30 | 0.86 | 12.63 | 11.30 | 0.86 | 12.61 | 11.27 | 0.86 |
| U ₆ | 2.06 | 1.49 | 1.30 | 0.11 | 1.49 | 1.30 | 0.11 | 1.44 | 1.29 | 0.11 |
| U ₇ | 1.56 | 1.33 | 1.29 | 0.09 | 1.33 | 1.29 | 0.09 | 1.33 | 1.29 | 0.09 |
| U ₈ | 1.56 | 1.33 | 1.29 | 0.09 | 1.33 | 1.29 | 0.09 | 1.33 | 1.29 | 0.09 |
| U ₉ | 3.32 | 1.50 | 1.42 | 0.13 | 1.50 | 1.42 | 0.13 | 1.54 | 1.42 | 0.13 |
| U ₁₀ | 3.77 | 1.35 | 1.25 | 0.13 | 1.35 | 1.25 | 0.13 | 1.35 | 1.26 | 0.13 |
| U ₁₁ | 3.77 | 1.35 | 1.25 | 0.13 | 1.35 | 1.25 | 0.13 | 1.35 | 1.26 | 0.13 |
| U ₁₂ | 4.18 | 1.86 | 1.62 | 0.14 | 1.86 | 1.62 | 0.14 | 1.86 | 1.62 | 0.14 |
| U ₁₃ | 2.79 | 1.66 | 1.49 | 0.13 | 1.66 | 1.49 | 0.13 | 1.66 | 1.49 | 0.12 |
| U ₁₄ | 2.79 | 1.66 | 1.49 | 0.13 | 1.66 | 1.49 | 0.13 | 1.66 | 1.49 | 0.12 |
| U ₁₅ | 10.56 | 9.16 | 8.33 | 0.64 | 9.16 | 8.33 | 0.64 | 9.27 | 8.37 | 0.64 |
| U ₁₆ | 8.35 | 8.61 | 8.27 | 0.58 | 8.61 | 8.27 | 0.58 | 8.79 | 8.32 | 0.58 |
| U ₁₇ | 11.34 | 12.48 | 10.61 | 0.91 | 12.48 | 10.61 | 0.91 | 12.40 | 10.60 | 0.91 |
| U ₁₈ | 12.09 | 12.62 | 11.36 | 0.77 | 12.62 | 11.36 | 0.77 | 12.62 | 11.36 | 0.77 |

El costo en que ha incurrido cada unidad ficticia en el periodo de análisis es como se presenta a continuación. Aquellas unidades reales que no requirieron de permisos adicionales a los ya otorgados, reflejan en forma integra el costo de combustible por la potencia despachada, las demás unidades poseen un componente de costo de combustible y permiso adquirido, este último se muestra en el ítem “Permisos” de la tabla.

Tabla IV.40. Costo en el período de estudio (\$)

| Unidad | | Función Objetivo I | | Función Objetivo II | | Función Objetivo I (2) | |
|----------------|----------|--------------------|-------------|---------------------|-------------|------------------------|-------------|
| | | Determinista | Estocástico | Determinista | Estocástico | Determinista | Estocástico |
| E[F] | E[F] | | E[F] | | | | |
| U ₁ | Eco | 26034.85 | 23466.51 | 26034.85 | 23466.51 | 26035.13 | 23466.77 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₂ | Eco | 26034.85 | 23418.34 | 26034.85 | 23418.34 | 26035.13 | 23418.60 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₃ | Eco | 0.00 | 4400.10 | 0.00 | 4400.10 | 0.00 | 4400.10 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₄ | Eco | 29860.31 | 31417.29 | 29939.03 | 31448.11 | 29850.77 | 31281.47 |
| | Gen | 5898.50 | 2600.99 | 5819.78 | 2570.16 | 4978.24 | 2480.11 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Permisos | 146.07 | 64.47 | 146.07 | 64.47 | 123.32 | 61.44 |
| U ₅ | Eco | 24084.44 | 21682.75 | 24084.44 | 21682.75 | 23988.69 | 21593.93 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₆ | Eco | 10274.52 | 9649.44 | 10274.52 | 9649.44 | 9143.45 | 9523.67 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₇ | Eco | 5355.90 | 8433.34 | 5355.90 | 8433.34 | 5355.33 | 8432.55 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₈ | Eco | 5355.90 | 8442.47 | 5355.90 | 8442.47 | 5355.33 | 8441.68 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₉ | Eco | 12015.33 | 14075.58 | 12015.33 | 14075.58 | 12893.71 | 13976.85 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Tabla IV.41. Costo en el período de estudio (\$)

| Unidad | | Función Objetivo I | | Función Objetivo II | | Función Objetivo I (2) | |
|-----------------|----------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| | | Determinista | Estocástico E[F] | Determinista | Estocástico E[F] | Determinista | Estocástico E[F] |
| U ₁₀ | Eco | 4491.75 | 9409.10 | 4491.75 | 9409.10 | 4604.95 | 9511.80 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₁₁ | Eco | 4491.75 | 9390.87 | 4491.75 | 9390.87 | 4604.95 | 11426.00 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₁₂ | Eco | 12470.50 | 11426.71 | 12470.50 | 11426.71 | 12469.78 | 9904.24 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₁₃ | Eco | 10037.63 | 9996.70 | 10037.63 | 9996.71 | 9868.90 | 9909.82 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₁₄ | Eco | 10037.63 | 10002.80 | 10037.63 | 10002.80 | 9868.90 | 13506.55 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₁₅ | Eco | 14387.12 | 13394.56 | 14387.12 | 13394.56 | 14675.98 | 9511.80 |
| | Gen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| U ₁₆ | Eco | 20891.59 | 21666.94 | 20897.31 | 21670.53 | 20871.24 | 21676.03 |
| | Gen | 1261.09 | 783.94 | 1255.38 | 780.36 | 2186.57 | 1009.90 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Permisos | 30.487 | 18.95 | 30.487 | 18.95 | 52.89 | 24.41 |
| U ₁₇ | Eco | 18111.50 | 17542.49 | 18141.16 | 17544.90 | 18106.18 | 17549.18 |
| | Gen | 2961.65 | 244.58 | 2931.99 | 242.17 | 2742.98 | 220.92 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Permisos | 137.3 | 11.34 | 137.3 | 11.34 | 127.01 | 10.23 |
| U ₁₈ | Eco | 20378.68 | 19405.50 | 20392.01 | 19406.58 | 20376.82 | 19397.45 |
| | Gen | 1342.62 | 106.33 | 1329.29 | 105.25 | 1344.43 | 99.46 |
| | Org | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Multa | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Permisos | 62.83 | 4.98 | 62.83 | 4.98 | 62.83 | 4.65 |

El costo total del sistema para el horizonte de tiempo:

Tabla IV.42. Costo total en el período de estudio (\$)

| Función Objetivo I | | | Función Objetivo II | | | Función Objetivo I (2) | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | | Determinista | Estocástico | |
| | E[F _t] | S[F _t] | | E[F _t] | S[F _t] | | E[F _t] | S[F _t] |
| 265778.12 | 695744.59 | 145004.75 | 265778.12 | 695744.59 | 145004.75 | 265357.47 | 695547.07 | 145028.85 |

Capítulo V

Análisis de Resultados

V.1 Igualdad de los Resultados

Los resultados de la aplicación son idénticos en todos los sistemas para las F.O.I y II, lo cual encuentra su explicación, en que no hay diferencias entre ambos, salvo la ponderación utilizada en esta última capaz de desplazar costos, sin embargo, en la F.O.I (2) existe la diferencia en el modelo de la función de costo de combustible, por lo que se prevé, que en las ocasiones en que este último modelo produce resultados cercanos a las demás F.O, será producto de que la ecuación de costo de combustible presenta una alta linealidad, por lo que el modelo de dos líneas rectas pese a ser más exacto, pierde importancia.

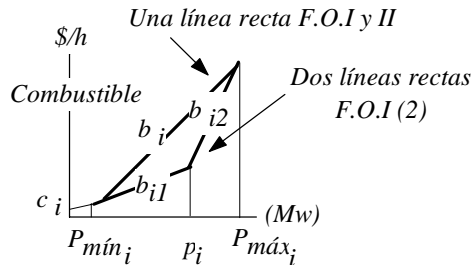


Figura V.1. Correspondencia entre los modelos para la función de costo de combustible

Como muestra la figura anterior, el modelo con dos líneas rectas siempre presentará valores de costo menores o iguales al modelo de una línea recta.

Los resultados idénticos en las F.O.I y II tienen relación con las emisiones totales (Ton) en el período para los casos determinista y estocástico, al igual que las potencias despachadas horarias para cada unidad y potencia racionada. Los costos totales para el período, pese a mostrarse distintos para cada unidad ficticia asociada a una unidad real que emita mayor cantidad de emisiones a las permitidas, en el fondo evidencian idénticos costos de combustible y adquisición de permisos, siendo la suma total idéntica. En particular para la unidad U_3 del sistema de 3 unidades, en el caso determinista:

Tabla V.1. Costo en el período (\$), unidad U_3

| | F.O. I | F.O.II |
|-------|-----------|-----------|
| Eco | 108442.13 | 110636.26 |
| Gen | 8548.13 | 6354.00 |
| Org | 0.00 | 0.00 |
| Multa | 0.00 | 0.00 |
| Total | 116990.26 | 116990.26 |

En ambos casos, el costo por permisos adquiridos en todo el período (no incluye combustible) es de \$443.39 equivalentes a 3.69 (Ton).

$$\frac{443.39 (\$)}{k_1 (\$/\text{Ton})} = \frac{443.39 (\$)}{120 (\$/\text{Ton})} \approx E_{\text{efectiva}} - E_{\text{permitida}} = 28.45 (\text{Ton}) - 24.76 (\text{Ton})$$

$$3.695 (\text{Ton}) \approx 3.69 (\text{Ton})$$

El costo debido únicamente al combustible utilizado se puede obtener sabiendo que los costos considerados en cada unidad ficticia responden a:

$$\text{Costo Eco} = \text{Costo de Combustible}$$

$$+ \frac{\text{Costo de Combustible}}{\text{Permisos adquiridos}} + \frac{\text{Costo de Combustible}}{\text{Permisos adquiridos}} + \frac{\text{Costo de Combustible}}{\text{Emisiones multadas}}$$

$$\text{Costo Gen} \qquad \qquad \qquad \text{Costo Org} \qquad \qquad \qquad \text{Costo Multa}$$

De lo anterior para la unidad 3 en la F.O.I y II:

| F.O.I y II | F.O.I | F.O.II |
|---------------------------|----------------------|----------------------|
| (+) Costo Gen | (+) 8548.13 (\$) | (+) 6354.00 (\$) |
| (+) Costo Eco | (+) 108442.13 (\$) | (+) 110636.26 (\$) |
| (-) Permisos adquiridos | (-) 443.39 (\$) | (-) 443.39 (\$) |
| <hr/> | | |
| Costo de Combustible | (+) 116546.87 (\$) | (+) 116546.87 (\$) |

Como se ve los resultados son idénticos, lo cual también ocurre en los demás sistemas de análisis. En materia de costos el costo total para los distintos sistemas en el período de 24 horas, también muestran igualdad en las F.O. indicadas tanto en el caso determinista como estocástico.

V.2 Aspectos Comunes

Un aspecto común en todos los sistemas, es el mostrado para la unidad marginal del mismo, lo que a la vez es aprovechado para indicar como se produce la solución vía aporte de las unidades ficticias a la potencia real despachada para cada función objetivo analizada. Si se escoge el sistema de 3 unidades como ejemplo, en particular para la hora de máxima demanda determinista (Hora 17), se tienen 3 casos importantes: (1) una unidad marginal ambientalmente ecológica, i.e. no requiere de permisos adicionales para generar, (2) una unidad que despacha toda su potencia disponible y también es ambientalmente ecológica y (3) una unidad que despacha toda su potencia disponible, siendo infractora en el período, i.e., requiere de permisos adicionales de emisión.

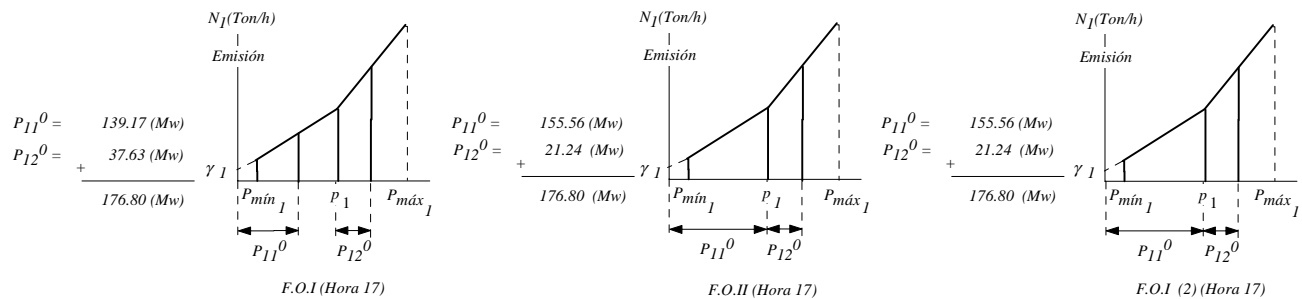


Figura V.2. Potencia despachada. Unidad 1, marginal

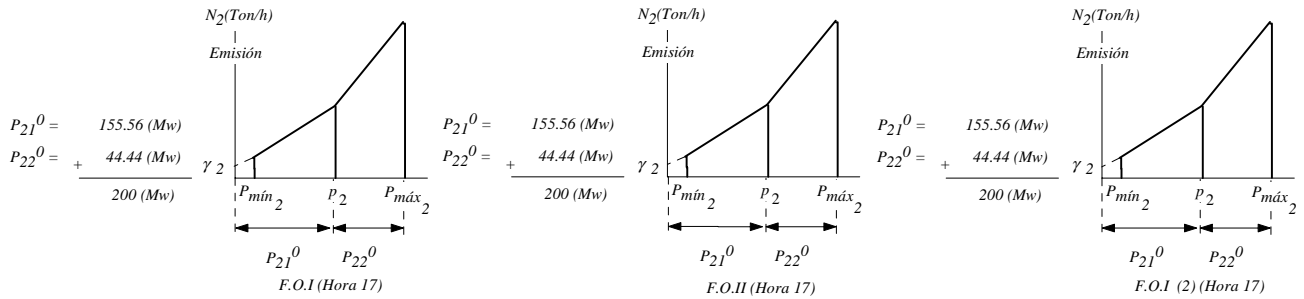


Figura V.3. Potencia despachada. Unidad 2, ambientalmente ecológica

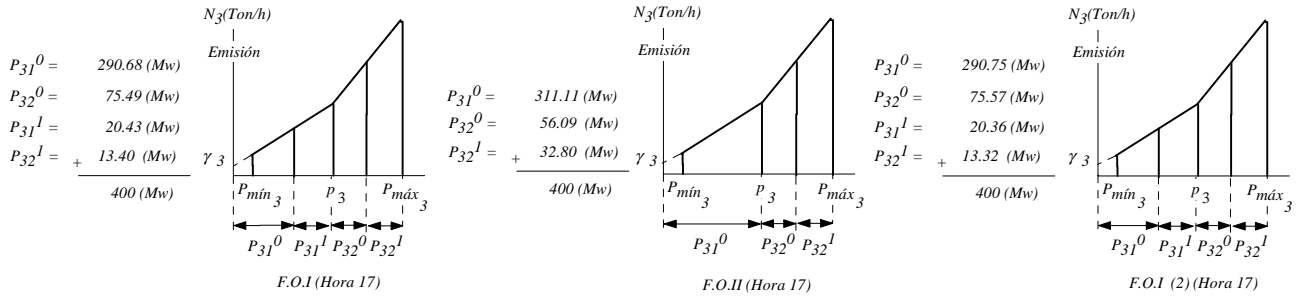


Figura V.4. Potencia despachada. Unidad 3, infractora en el período

Como se puede notar, la potencia despachada total para una unidad es la misma en todos los casos de la F.O., pero en este caso en particular, la potencia a despachar producto de la F.O.I (2), coincide con las demás (esto no es un hecho común a todos los sistemas). A pesar de la igualdad en la potencia total, el aporte de las potencias ficticias no es la misma para la unidad marginal (unidad 1) e infractora (unidad 3), debido al uso discontinuo del permiso en la F.O.I, el uso continuo del permiso en la F.O.II y la influencia de los costos incrementales asociados al segundo tramo de la ecuación de costo de combustible en la F.O.I (2), además, en las figuras anteriores se puede notar un detalle en la repartición de potencia de la unidad 1 (unidad marginal) en la F.O.I, la que se muestra a continuación para su función de costo de combustible y emisión teniendo una mayor claridad.

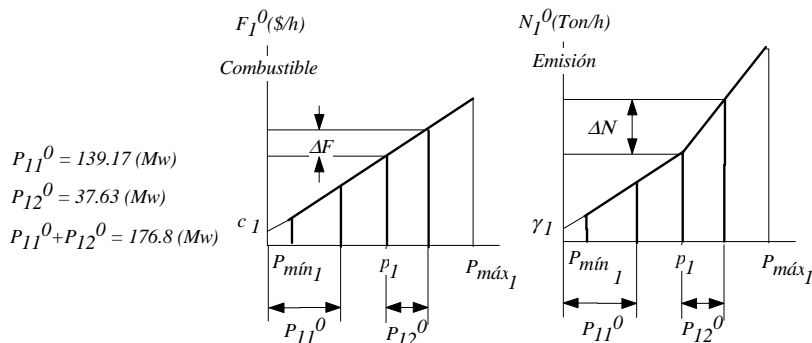


Figura V.5. Repartición de potencia de la unidad 1 (F.O. I)

El delta de potencia P_{12}^0 , produce igual variación de costo si se traslada a la parte inferior de la ecuación de costo de combustible, pero en la ecuación de emisión, ésta no es la misma debido a la falta de proporción de los dos tramos que modelan dicha característica, de esta forma la ecuación:

$$N_1^0 = \gamma_1 + \beta_{11}^0 P_{11}^0 + \beta_{12}^0 P_{12}^0$$

no cumple con el objetivo de determinar la emisión “real” de la unidad, sin embargo, se debe notar que el verdadero valor de la ecuación se encuentra en la restricción sobre la cantidad de permisos para cada unidad en el período, siendo válida en el límite, además lo anterior no debe preocupar, pues la emisión real puede ser determinada alternativamente por el total de potencia despachada y en cuanto a la interrogante de un posible mal planteamiento de esta ecuación, es posible desecharla ya que para la F.O.II se producen idénticos resultados en emisiones, a pesar de que en éste no se permiten discontinuidades, otra cosa a notar es que la F.O.I es un caso particular de la F.O.II con $w=1$. Algo más que agregar es que dicha situación, la cual es notoria en el nivel de demanda máxima de todos los sistemas (hora 17), se observa en unidades que exhiben cierta marginalidad por efecto de sus costos incrementales ficticios y nivel de demanda horaria.

Tabla V.2. Unidades marginalistas

| Sistema | Unidad | b_i (\$/Mwh) |
|-------------|------------|----------------|
| 3 Unidades | U_1 | 16.64 |
| 5 Unidades | U_5 | 13.999 |
| 9 Unidades | U_7 | 17.45 |
| 18 Unidades | U_7, U_8 | 25.807 |

Otro caso común se refiere al costo marginal en todas las F.O., tanto determinista como esperado, el cual sigue las variaciones de la demanda y tienen su efecto en él las unidades ficticias que internalizan el aspecto ambiental, las cuales debido al método de optimización utilizado pueden producir cambios en la lista de mérito del parque de generación [23, 25]. Toma su mayor valor en la hora de máxima demanda y el mínimo en la hora en que esta última toma su valor más bajo. Como se puede notar dicho valor sólo es indicado para la F.O.I y I(2), esto debido a la imposibilidad de su obtención en la F. O. II, por efecto de la ponderación del costo incremental, recordando con esto una de las falencias de la ponderación de las externalidades, como es la pérdida de la noción del costo social que implica esta última. El costo marginal de un sistema es el indicador del valor social que implica la generación de energía siendo especial preocupación que este valor sea el reflejo de todos los costos que guardan relación con ella. Un aspecto que determina la diferencia en su valor para las F.O.I y I (2), es la modelación que en éste último se emplea para la función de costo de combustible que según sea el caso de comparación presenta las características indicadas en la figura:

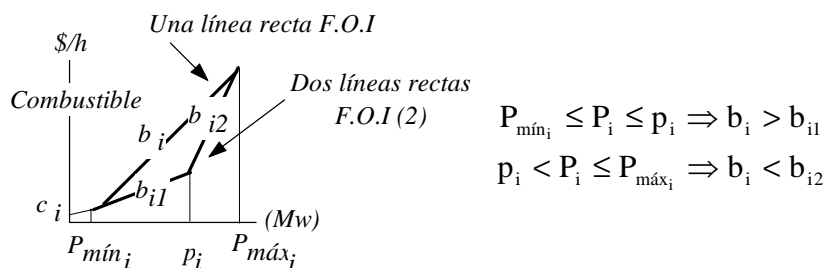


Figura V.6. Comparación de costos incrementales

Dada la dependencia de los costos incrementales de las unidades ficticias con el costo indicado anteriormente, resulta claro que en determinadas horas del horizonte estudiado, el costo marginal del sistema resulte menor o mayor en comparación uno con otro. Por ejemplo para el sistema de 3 unidades en las horas de máxima y mínima demanda respectivamente, se tiene:

Tabla V.3. Costo Marginal (\$/Mwh)

| Hora 17 | | Hora 23 | |
|---------|-----------|---------|-----------|
| F.O.I | F.O.I (2) | F.O.I | F.O.I (2) |
| 16.64 | 16.73 | 13.63 | 13.52 |

En el caso estocástico, el efecto del costo de racionamiento producto de la indisponibilidad de las unidades y/o falta de capacidad del sistema, hacen que el valor esperado para la F.O.I (2), sea mayor a la F.O.I., esto ya que en la primera el costo incremental de potencia de las unidades ficticias (b_{i2}^j) del cual depende el costo de racionamiento, se ha visto aumentado por la pendiente asociada al segundo tramo de la ecuación de costo de combustible, además hay un suceso particular que afecta el valor del costo marginal, el cual esta relacionado con la demanda del sistema y capacidad del mismo actuando juntos, esto se clarifica, a través, de la potencia a despachar para cada unidad, tomando como ejemplo el sistema de 3 unidades:

Tabla V.4. Potencia despachada (Mw)

| | Hora 17 | | Hora 23 | |
|----------------|---------|--------|---------|--------|
| | P | E[P]. | P | E[P] |
| U ₁ | 176.80 | 156.37 | 100 | 102.93 |
| U ₂ | 200 | 170.16 | 200 | 166.94 |
| U ₃ | 400 | 361.49 | 250.40 | 256.79 |

Para este sistema el valor del costo marginal determinista en la hora de máxima demanda (hora 17), lo fija la unidad U₁, que no se encuentra en ninguno de sus límites mínimo o máximo de generación, además los valores esperados de potencia despachada para cada unidad son menores al caso determinista, sin embargo, en la hora de mínima demanda (hora 23), esto no ocurre para las unidades U₁ y U₃ cuyos costos incrementales son mayores respecto a la unidad U₂. Para esta hora en particular, en el caso determinista, el despacho obligado de las 3 unidades, una demanda muy ajustada a la capacidad de generación del sistema y el elevado valor de los costos incrementales ficticios de la U₁, fijan su potencia a despachar en el valor mínimo, lo cual quita su participación en el costo marginal del sistema, de esta forma éste pasa a ser definido por la U₃ y sus componentes ficticias que no se encuentren en su límite mínimo o máximo. La repercusión de lo anterior, provoca en el caso estocástico un valor esperado de generación mayor, debido a que la falla de cualquiera de las unidades del sistema tiende a incrementar la generación de unidades con costos incrementales ficticios elevados y que posean un gran capacidad de generación de potencia, de esta forma se demuestra que la capacidad del parque de generación, rango de potencia de cada unidad, costo incremental de combustible y una demanda demasiado ajustada a la capacidad del mismo, pueden llegar a provocar cambios en los valores de costo marginal y potencia a despachar determinista (esperada) de cada unidad, sin embargo, tampoco se puede decir que sólo las unidades con costos incrementales elevados serán afectadas, ya que es un efecto que producen en conjunto para determinadas horas, los factores anteriormente aludidos, un ejemplo de ello es la U₃ del sistema anterior y los valores presentados en el sistema de 18 unidades estudiado.

El incremento de la potencia esperada respecto de la determinista se presenta para los siguientes casos según sistema y F.O. :

Tabla V.5. Incremento en potencia (esperada/determinista)

| Sistema | Unidades | |
|-------------|-------------|----------------|
| | F.O.I y II | F.O.I (2) |
| 3 Unidades | 1 y 3 | 1 y 3 |
| 5 Unidades | 4 y 5 | 2,4 y 5 |
| 9 Unidades | 6, 7, 8 y 9 | 5, 6, 7, 8 y 9 |
| 18 Unidades | 3 a 16 | 3 a 16 |

Dado que los costos y emisiones horarias de cada unidad dependen de las potencias horarias despachadas, resulta lógico pensar que también presentan cambios en sus valores esperados respecto a los deterministas, sin embargo, debido a la diferencia en su representación, puede darse el caso que los valores de costo deterministas son mayores (menores) a los esperados, y las correspondientes emisiones no lo sean, tal es el caso del costo total de la U_6 y sus emisiones en el sistema de 9 unidades (F.O.I y II):

Tabla V.6. Costo y emisiones totales en el período, unidad U_6

| Costo Total en el Período (\$) | | Emisión Total en el Período (Ton) | |
|--------------------------------|-----------|-----------------------------------|----------|
| F_t | $E[F_t]$ | E_m | $E[E_m]$ |
| 241401.55 | 238632.25 | 31.78 | 34.45 |

También, se verifica para todos los sistemas, un aspecto acerca de la potencia racionada, la cual para los casos determinista es nula. En el aspecto estocástico por efecto de la indisponibilidad de las unidades e incertidumbre de la demanda, presenta su mayor valor y desviación a la hora de máxima demanda, sucediendo lo contrario a la hora de mínima demanda, i.e., su comportamiento es idéntico al costo marginal del sistema. Una característica en común, también tiene relación con el costo total que se produce para todos los sistemas en el horizonte de estudio. Para la F.O.I (2), su valor es menor en el caso determinista a las demás F.O., al contrario del caso estocástico, donde resulta mayor. Lo anterior tiene explicación, para el caso determinista, en el modelo de dos líneas rectas, sin embargo, en el caso estocástico, la explicación es debida al mayor costo de racionamiento que se ha supuesto, el cual se debe recordar, depende de los costos incrementales de las unidades ficticias asociadas a cada unidad real del sistema. Es así que considerando los valores de racionamiento resultantes (idénticos en la F.O.I, II y I (2)), los costos únicamente asociados a las unidades para las 24 horas del día y tomando como ejemplo el sistema de 3 unidades (tabla que sigue), se puede decir, que si el costo de racionamiento fuera el mismo en todas las F.O., entonces la F.O.I (2) presentaría un costo esperado total del sistema (unidades más racionamiento) menor, esto último nuevamente se encuentra justificado en el modelo utilizado para la función de costo de combustible

Tabla V.7. Costo esperado total en el período (\$)

| Item | F.O.I y II | F.O.I (2) |
|---------------|------------|-----------|
| $U_1+U_2+U_3$ | 227094.37 | 227012.02 |
| Racionamiento | 374760.06 | 374760.06 |
| Total | 601854.43 | 601772.08 |

V.3 Caso Particular: Sistema de Tres Unidades

Para este sistema la unidad que resulta con emisiones mayores a las permitidas en el período vía optimización, es la unidad 3, con una emisión en el caso determinista en todas las F.O. de 28.45 (Ton), esto es un 14.9% mayor a las permitidas de 24.76 (Ton), debiendo adquirir 3.69 (Ton) en el mercado entre generadores, equivalentes a 443.39 (\$). En el caso estocástico sus emisiones esperadas son de 27.03 (Ton), un 9.16% mayor a las permitidas con una desviación de 2.23 (Ton), el costo esperado por las emisiones es de 295.95 (\$), aproximadamente 2.47 (Ton) adquiridas.

En particular el costo marginal esperado varía entre 3.6 y 9.4 veces el valor presentado en los casos deterministas en ambas F.O. para la cual es determinable (F.O.I y I (2)), además de la tabla siguiente se puede ver que las diferencias entre F.O., no son elevadas, menores al 1% del modelo de dos líneas rectas respecto al de una línea recta

Tabla V.8. Costo marginal (\$/Mwh)

| Hora | Determinista [L] | | | Estocástico E[L] | | |
|---------|------------------|-----------|----------------|------------------|-----------|----------------|
| | F.O.I | F.O.I (2) | Diferencia (%) | F.O.I | F.O.I (2) | Diferencia (%) |
| Hora 17 | 16.64 | 16.73 | +0.54 | 155.82 | 156.51 | +0.54 |
| Hora 23 | 13.63 | 13.52 | -0.811 | 48.58 | 48.69 | +0.23 |

El caso del costo total diario, tampoco presenta una gran diferencia, respecto del tratamiento de la función de costo de combustible, como se puede apreciar la diferencia es menor al 0.3%

Tabla V.9. Costo total en el día (\$)

| Determinista [F _t] | | | Estocástico E[F _t] | | |
|--------------------------------|-----------|----------------|--------------------------------|-----------|----------------|
| F.O.I y II | F.O.I (2) | Diferencia (%) | F.O.I y II | F.O.I (2) | Diferencia (%) |
| 246735.46 | 246616.62 | -0.048 | 601854.43 | 603471.99 | +0.27 |

Los resultados en emisiones y costos totales determinista y estocástico para cada unidad en el día son muy próximos en la F.O.I (2) a las F.O.I y II, por lo que el modelo de dos líneas rectas para las ecuaciones de costo de combustible no refleja grandes diferencias, respecto al de una línea recta, salvo el caso particular del costo total esperado del sistema para el período, que se sabe esta influenciado por el costo de racionamiento, el cual es distinto entre los casos F.O.I - II y I(2), debido a su dependencia con los costos ficticios asociados de cada unidad, aún así en este caso la diferencia de +0.27% no se cree elevada.

V.4 Caso Particular: Sistema de Cinco Unidades

Las emisiones permitidas son sobrepasadas por la unidad 2. El caso determinista arroja una emisión para la F.O.I y II de 23.84 (Ton), mientras que el total permisible es de 22.28 (Ton), lo anterior provoca un costo adicional al combustible para esta unidad, debiendo adquirir en el mercado entre generadores 1.56 (Ton) equivalentes a 186.32 (\$). La diferencia en el modelo utilizado para la función de costo de combustible en la F.O.I (2) ha influido en la lista de mérito de las unidades del sistema. Dada la falta de linealidad de la función mencionada en ciertas unidades, se ha afectado los costos y emisiones horarios de las mismas, repercutiendo en los totales del período, de lo anterior las

unidades afectadas en el sistema corresponden a: U_2 , U_4 y U_5 , donde esta última ha aumentado sus emisiones y costos respecto a los resultados de las F.O.I y II como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla V.10. Emisión total en el período (Ton)

| Unidad | NP_i | F.O.I y II | F.O.I (2) | Diferencia (%) |
|--------|--------|------------|-----------|----------------|
| U_2 | 22.28 | 23.84 | 22.38 | -06.12 |
| U_4 | 41.78 | 14.83 | 12.56 | -15.30 |
| U_5 | 25.53 | 12.95 | 17.37 | +34.13 |

Como se puede ver la unidad 2, para la F.O.I (2) presenta menores emisiones, a tal punto de estar cercanas a las permitidas, la diferencia es de 0.1 (Ton) para el período con un costo de 11.79 (\$) a diferencia de los 186.32 (\$) anteriores.

La diferencia en el modelo de la función de costo de combustible de la F.O.I (2), ha desplazado para ciertas horas del período a la unidad 5 de la marginalidad del sistema, lo cual no ocurría para las otras F.O., aumentando por tanto su generación y disminuyendo la correspondiente a las unidades que la podrían reemplazar U_2 y U_4 . Lo anterior es verificable en los resultados de la aplicación del modelo y también es comprobable en el aspecto estocástico.

La comparación de lo que ocurre con el costo marginal para las horas de máxima y mínima demanda horaria (hora 17 y 23) se presenta en la tabla siguiente:

Tabla V.11. Costo marginal (\$/Mwh)

| Hora | Determinista [L] | | | Estocástico E[L] | | |
|---------|------------------|-----------|----------------|------------------|-----------|----------------|
| | F.O.I | F.O.I (2) | Diferencia (%) | F.O.I | F.O.I (2) | Diferencia (%) |
| Hora 17 | 14.00 | 17.96 | +28.29 | 123.94 | 148.64 | +19.93 |
| Hora 23 | 13.30 | 11.28 | -15.19 | 41.12 | 46.14 | +12.21 |

Como se puede apreciar la diferencia entre las F.O. es elevada respecto a los resultados que se conocen del sistema anterior, por tanto la representación de la función de costo de combustible para el caso de la F.O.I (2) por dos líneas rectas, ha adquirido importancia para el sistema. El costo total del sistema para el período de optimización ratifica la afirmación anterior:

Tabla V.12. Costo total en el día (\$)

| Determinista $[F_t]$ | | | Estocástico $E[F_t]$ | | |
|----------------------|-----------|----------------|----------------------|-----------|----------------|
| F.O.I y II | F.O.I (2) | Diferencia (%) | F.O.I y II | F.O.I (2) | Diferencia (%) |
| 258087.85 | 247147.20 | -4.24% | 584166.35 | 644442.18 | +10.32 |

V.5 Caso Particular: Sistema de Nueve Unidades

Para este sistema las unidades U_3 , U_4 y U_5 , sobrepasan en el caso determinista, sus permisos de emisión para el período en todos los casos de la F.O., sin embargo al igual que ocurre en el sistema de cinco unidades la diferencia en el modelo de la función de costo de combustible para el caso de la F.O.I (2), ha alterado el orden de mérito de las unidades, cambiando con ello las emisiones y costos horarios para el período de algunas de las mismas: U_4 , U_5 , U_6 , U_7 , U_8 y U_9 . La tabla siguiente muestra lo que ocurre para las emisiones que se producen en el día para las unidades mencionadas.

Tabla V.13. Comparación de emisiones y permisos

| Unidad | NP _i | Emisiones en el Período (Ton) | | | Permisos adquiridos en el período (Ton) | | |
|----------------|-----------------|-------------------------------|-----------|----------------|---|-----------|----------------|
| | | F.O.I y II | F.O.I (2) | Diferencia (%) | F.O.I y II | F.O.I (2) | Diferencia (%) |
| U ₃ | 33.43 | 42.97 | 42.97 | 0 | 9.54 | 9.54 | 0 |
| U ₄ | 21.66 | 26.39 | 25.51 | -03.33 | 4.73 | 3.85 | -18.60 |
| U ₅ | 21.66 | 25.88 | 23.88 | -07.73 | 4.22 | 2.22 | -47.39 |
| U ₆ | 55.71 | 31.78 | 23.25 | -26.84 | 0 | 0 | 0 |
| U ₇ | 16.25 | 7.48 | 9.98 | +33.42 | 0 | 0 | 0 |
| U ₈ | 16.25 | 8.41 | 10.51 | +24.97 | 0 | 0 | 0 |
| U ₉ | 17.83 | 12.42 | 11.44 | -07.89 | 0 | 0 | 0 |

Como se puede deducir de los resultados de aplicación y de la tabla, las unidades 7 y 8 son desplazadas en ciertas horas en la lista de mérito respecto a la F.O.I y II, de forma tal que en la F.O.I (2) generan una mayor cantidad de potencia durante el período con el consecuente aumento de emisiones diarias de las mismas, mientras que el resto de las unidades tiende a cambiar en la lista de mérito de forma de disminuir su generación horaria, es así como las unidades 4 y 5 consideradas infractoras en el período junto a la unidad 3, para todas las F.O., disminuyen su emisión y por tanto sus permisos adquiridos junto con sus costos asociados. El caso estocástico también refleja lo anteriormente descrito

La influencia que en el costo marginal ha ejercido el modelo de dos líneas rectas (F.O.I (2)) respecto al de una línea recta (F.O.I), se presenta en la tabla siguiente, para una comparación general de los mismos en las horas 17 y 23 de máxima y mínima demanda.

Tabla V.14. Costo marginal (\$/Mwh)

| Hora | Determinista [L] | | | Estocástico E[L] | | |
|---------|------------------|-----------|----------------|------------------|-----------|----------------|
| | F.O.I | F.O.I (2) | Diferencia (%) | F.O.I | F.O.I (2) | Diferencia (%) |
| Hora 17 | 17.45 | 18.00 | +3.15 | 212.89 | 219.17 | +2.95 |
| Hora 23 | 15.54 | 16.15 | +3.93 | 41.11 | 41.91 | +1.95 |

Se puede decir que el costo marginal en este sistema no sufre variaciones de la magnitud del sistema de 5 unidades, presentando diferencias que no superan el 4%, aún así el caso de la F.O.I (2), ha hecho cambiar la lista de mérito para el despacho. El costo total para el período, como se muestra, tampoco presenta grandes cambios.

Tabla V.15. Costo total en el día (\$)

| Determinista [F _t] | | | Estocástico E[F _t] | | |
|--------------------------------|-----------|----------------|--------------------------------|------------|----------------|
| F.O.I y II | F.O.I (2) | Diferencia (%) | F.O.I y II | F.O.I (2) | Diferencia (%) |
| 913022.95 | 909995.03 | -0.33 | 1789775.86 | 1815216.04 | +1.42 |

V.6 Caso Particular: Sistema de Dieciocho Unidades

La cantidad de permisos de emisión para el período de 24 horas, no son los suficientes para las unidades U_4 , U_{16} , U_{17} y U_{18} , mientras que los cambios en emisiones y costos totales al comparar la F.O.I y II con la F.O.I (2) se presentan para las unidades U_4 , U_5 , U_6 , U_9 , U_{15} , U_{16} y U_{17} , lo anterior quiere decir que en este sistema también la linealización a dos tramos de la función de costo de combustible es un modelo más exacto e importante, dado los cambios en la lista de mérito que se producen respecto a la F.O.I yII.

Tabla V.16. Comparación de emisiones y permisos

| Unidad | NP _i | Emisiones en el Período (Ton) | | | Permisos adquiridos en el período (Ton) | | |
|----------|-----------------|-------------------------------|-----------|----------------|---|-----------|----------------|
| | | F.O.I y II | F.O.I (2) | Diferencia (%) | F.O.I y II | F.O.I (2) | Diferencia (%) |
| U_4 | 10.12 | 11.34 | 11.15 | -1.67 | 1.22 | 1.03 | -15.57 |
| U_5 | 14.06 | 12.63 | 12.61 | -0.158 | 0 | 0 | 0 |
| U_6 | 2.06 | 1.49 | 1.44 | -3.36 | 0 | 0 | 0 |
| U_9 | 3.32 | 1.50 | 1.54 | +2.67 | 0 | 0 | 0 |
| U_{15} | 10.56 | 9.16 | 9.27 | +1.20 | 0 | 0 | 0 |
| U_{16} | 8.35 | 8.61 | 8.79 | +2.09 | 0.26 | 0.44 | +69.23 |
| U_{17} | 11.34 | 12.48 | 12.40 | -0.641 | 1.14 | 1.06 | -7.017 |
| U_{18} | 12.09 | 12.62 | 12.62 | 0 | 0.53 | 0.53 | 0 |

Se puede ver de la tabla y los resultados de potencia despachada en las aplicaciones, que las unidades U_9 , U_{15} y U_{16} , en la F.O.I (2) son desplazadas de la marginalidad del sistema en ciertas horas del horizonte de estudio, aumentando su generación respecto a la F.O.I y II, mientras que las unidades U_4 , U_5 , U_6 y U_{17} presentan el comportamiento contrario, sin embargo los cambios en emisiones no son muy notorios para las unidades de la tabla (menor al 4%), y en particular se puede verificar de las aplicaciones que la unidad U_9 en el aspecto estocástico no exhibe diferencia alguna con los resultados de las F.O. restantes. En resumen el resultado es una disminución de los permisos que requieren la unidades U_4 y U_{17} , compensado con un aumento de los mismos para la unidad U_{16} . En todas las unidades, las emisiones y costos esperados para el día son menores a los deterministas y reflejan lo descrito.

Si bien es cierto el modelo de dos líneas rectas no arroja grandes diferencias respecto al modelo de una línea recta, es claro el efecto en la lista de mérito del sistema, aún así la diferencia en el costo marginal no es elevada como se puede notar.

Tabla V.17. Costo marginal (\$/Mwh)

| Hora | Determinista [L] | | | Estocástico E[L] | | |
|---------|------------------|-----------|----------------|------------------|-----------|----------------|
| | F.O.I | F.O.I (2) | Diferencia (%) | F.O.I | F.O.I (2) | Diferencia (%) |
| Hora 17 | 25.81 | 25.69 | -0.46 | 301.52 | 301.56 | +0.013 |
| Hora 23 | 7.13 | 7.12 | -0.14 | 25.73 | 25.72 | -0.039 |

Como se muestra a continuación, el costo total del sistema tampoco presenta grandes cambios.

Tabla V.18. Costo total en el día (\$)

| Determinista $[F_t]$ | | | Estocástico $E[F_t]$ | | |
|----------------------|-----------|----------------|----------------------|-----------|----------------|
| F.O.I y II | F.O.I (2) | Diferencia (%) | F.O.I y II | F.O.I (2) | Diferencia (%) |
| 265778.12 | 265357.07 | -0.16 | 695744.59 | 695547.07 | -0.028 |

CONCLUSIÓN

El modelo validado que se propone, resuelve el problema del despacho estocástico multi-horario de carga bajo SPET para los NO_x , basado en la teoría de Programación Lineal Convexa Separable y simulación por Monte Carlo. El problema de optimización es planteado de 3 formas:

- (1) uso discontinuo del permiso de emisión, en el rango de generación horario, con una línea recta para la representación de la función de costo de combustible.
- (2) uso continuo del permiso de emisión en el rango de generación horario, con una línea recta para la representación de la función de costo de combustible, más una ponderación del costo incremental del mismo.
- (3) uso discontinuo del permiso de emisión en el rango de generación horario, con dos líneas rectas para la representación de la función de costo de combustible.

La valorización del costo social que implica la externalidad ambiental sólo es reflejada en (1) y (3), a través del costo marginal del sistema. Para el segundo caso, en que se utiliza la ponderación del costo incremental del costo de combustible, lo anterior no es posible, siendo uno de sus falencias, sin embargo presenta resultados idénticos al primero (emisiones, costos y potencia despachada), por tanto la aplicación del modelo es satisfactoria ya que realiza la programación del despacho y distribución en forma óptima de los permisos de emisión otorgados en todos los casos de análisis.

La comparación de los casos (1) y (3), ratifica la importancia del modelo para la función de costo de combustible, cuando ésta no está bien representada por una línea recta, ya que en dicho caso se producen cambios en la lista de mérito para el despacho de carga, afectando la potencia a despachar, el uso de los permisos de emisión y los costos asociados de las unidades generadoras.

La contribución de este trabajo se encuentra en la incorporación de las ideas más importantes y eficientes de la literatura, utilizadas para resolver el problema del despacho económico de carga bajo restricciones ambientales, en un modelo innovador de mercado de emisiones (SPET), el cual considera el aspecto estocástico de funcionamiento para las unidades generadoras y demanda horaria. El modelo se enmarca en un sistema centralizado para el despacho de carga como el Chileno. Su potencialidad se encuentra en las modificaciones mínimas al despacho de carga según una lista de prioridades. Las mejoras del modelo presentado se asumen en la profundización del funcionamiento del mercado y un análisis más detallado de la forma en que debe ser incluido probabilísticamente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sohrab Asgarpoor, Scott Benson. “Production Costing Strategy for Optimal SO₂ Compliance using Monte Carlo Simulation”. *Electric Power Systems Research*, 37 (1996), pp. 159 – 164.
- [2] D. Chattopadhyay. “An Energy Brokerage System with Emission Trading and Allocation of Cost Saving”. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol 10, N°4, pp. 1939 – 1945. November 1995,
- [3] P. Chernick, and E. Caverhill. “Methods of Valuing Environmental Externalities”. *The Electricity Journal*, Vol. 4, N°2, pp. 46-53, March 1991.
- [4] MINISTERIO DE MINERÍA (1982). *Ley General de Servicios Eléctricos D.F.L. N°1*. Diario Oficial de la República de Chile N° 31.366, Septiembre 1982. Chile.
- [5] MINISTERIO DE MINERÍA (1997). *Nuevo Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos según Decreto Supremo N° 327*. Diciembre 1997. Santiago. Chile.
- [6] A. A. El-Kieb, H. Ma, J. L. Hart. “Economic Dispatch in View of the Clean Air Act of 1990”. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.9, N°2, pp. 972 – 978, May 1994.
- [7] A. A. El-Kieb, H. Ding. “Environmentally Constrained Economic Dispatch using Linear Programming”. *Electric Power Systems research*, 29 (1994), pp. 155 – 159.
- [8] Y. J. Fan and L. Zhang. “Real Time Dispatch with Line Flow and Emission Constraints Using Quadratic Programming”. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 13 N°2, pp. 320 – 325, May 1998.
- [9] R. M. Gent, John Wm. Lamont. “Minimum-Emission Dispatch”. *IEEE transaction on Power Apparatus and Systems*, Vol PAS-90, pp. 2650 - 2660, November/December 1971.
- [10] G. P. Granelli, *et. al.* “Emission Constrained Dynamic Dispatch”. *Electric Power Systems Research*, 24 (1992), pp.55 – 64.
- [11] S. W. Hess, *et al.* “Planning System Operations to Meet NO_x Constraints”. *IEEE Computer Applications in Power*, Vol 5, N°3, pp. 10 - 14, July 1992.
- [12] S. W. Hess, *et. al.* “Current Issues in Operational Planning”. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 7, N°3 pp. 1197 - 1210, August 1992.
- [13] F. Hillier and G. Lieberman. “Introducción a la Investigación de Operaciones”. Tercera Edición. Libros McGraw-Hil.

- [14] B. F. Hobbs. "Emissions Dispatch under the Underutilization Provision of the 1990 US Clean Air Act Amendments: Models and Analysis". Transactions on Power Systems, Vol. 8 N°1, pp. 177 - 183, February 1993.
- [15] T. M. Jackson *et. al.* "Evaluating Soft Strategies for Clean-Air Compliance". IEEE Computer Applications in Power, pp. 46 - 50, April 1993.
- [16] J. W. Lamont, E. V. Obessis. "Emission Dispatch Models and Algorithms for The 1990'S". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, N°2, pp. 941 – 945, May 1995.
- [17] M. J. Leppitsch, B. F. Hobbs. "The Effect of NO_x Regulations on Emissions Dispatch: A Probabilistic Production Costing Analysis". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11. N°4, pp. 1711 - 1717, November 1996.
- [18] Enrique López *et. al.* "Despacho de Carga Probabilístico con Restricciones Ambientales de emisiones Atmosféricas Basada en un Sistema de Permisos Transables vía Programación Lineal Estocástica". 4º Congreso Latinoamericano de Generación y Transporte de Energía Eléctrica. Noviembre 2000. Viña del Mar Chile.
- [19] Enrique López, Fabricio Salgado. "Calidad del Aire y Despacho Económico Ambiental". Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Noviembre 2001.
- [20] Arthur M. Breipohl, *et. al.* "An Adaptive Production Simulation Structure for Operational Planing with Annual Emission/Fuel Constraints". IEEE Transactions on Power Systems, Vol 9, N°3, pp. 1634 – 1642. August 1994.
- [21] T. L. Montgomery and M. Corn. "Adherence of Sulfur Dioxide Concentrations in the Vicinity of a Steam Plant to Plume Dispersion Models". Journal of the Air Pollution Control Association, Vol. 17, N°8, pp. 512-517, August 1967.
- [22] Hector A. Pulgar P. "Despacho de Carga Anual Jerarquizado de un Parque de Generación Regulado por un SPET". Informe de Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Eléctrico, DIE, Universidad de Concepción, Marzo 2001.
- [23] R. Ramanathan. "Emission Contrained Economic Dispatch". IEEE Transactions on Power Systems, Vol.9, N°4, pp. 1994 – 2000, November 1994.
- [24] Fabricio I. Salgado D. "Una Contribución al Despacho Económico Estocástico con Restricciones Ambientales de NO_x". Informe de Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Eléctrico, DIE, Universidad de Concepción, Abril. 2002.
- [25] Narayan S. Rau, Stephen T. Adelman. "Operating Strategies Under Emission Constraints". IEEE Transactions on Power Systems, Vol 10, N°3, pp. 1585 – 1591, August 1995.
- [26] William Y. Spens, Fred N. Lee. "Interactive Search Approach to Emission Constrained Dispatch". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, N°2, pp. 811 – 817, May 1997.

- [27] D. Srinivasan, A. Tettamanzi. "Compliance Options in View of the Clean Air Act Amendments". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, N°1, pp. 336 - 341, February 1997.
- [28] R. L Sullivan. "Minimum Pollution Dispatch". IEEE Summer Power Meeting, paper C-72-468-7, July 1972.
- [29] R. L. Sullivan and D. F. Hacckett. "Air Quality Control Using a Minimum Pollution Dispatching Algorithm". Environmental Science and Technology, Vol. 7, N°11, pp. 1019-1022, November 1973.
- [30] J. H. Talaq, Ferial and M. E. El-Hawary. "A Summary of Environmental/Economics Dispatch Algorithms". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 9, N°3, pp. 1508 -1516, August 1994.
- [31] A. Tsuji. "Optimal Fuel Mix and Load Dispatching under Environmentals Constraints". IEEE transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, pp. 2357 - 2364, May 1981.
- [32] William G. Wee, Yong-Lin Hu. "A Hierarchical System for Economic Dispatch with Environmental Constraints". IEEE Transactions on Power Systems, Vol.9, N°2, pp. 1076 – 1082, May 1994.
- [33] K. P. Wong and J. Yuryevich. "Evolutionary Programming Based Algorithm for Environmentally Constrained Economic Dispatch". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13 N°2, pp. 301 - 306, May 1998.

ANEXO A: DATOS SISTEMA DE 3 UNIDADES

La siguiente figura, muestra los parámetros a indicar y unidades de medida para este sistema, además se esquematiza la construcción de la función de emisión por tramos y costo de combustible. En el caso de la F.O.I (2), la diferencia en la data utilizada con las F.O.I y II, se presenta en la tabla respectiva.

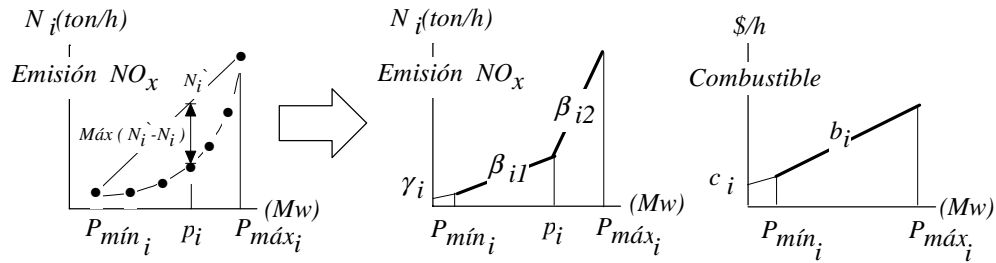


Figura A.1. Curvas características F.O. I y II

Tabla A.1. Datos F.O.I y II

| Unidad | β_{i1} | β_{i2} | γ_i | p_i | b_i | c_i | $P_{mín_i}$ | $P_{máx_i}$ | FOR (q_i) | η_i |
|--------|--------------|--------------|------------|--------|-------|-------|-------------|-------------|------------------|----------|
| U_1 | 0.0027540 | 0.0028896 | 0.1996000 | 155.56 | 16.64 | 768 | 100 | 200 | 0.12 | 0.20 |
| U_2 | 0.0023339 | 0.0036814 | -0.0161240 | 155.56 | 11.55 | 418 | 100 | 200 | 0.15 | 0.25 |
| U_3 | 0.0049955 | 0.0081455 | -0.7358100 | 311.11 | 13.03 | 264 | 200 | 400 | 0.10 | 0.30 |

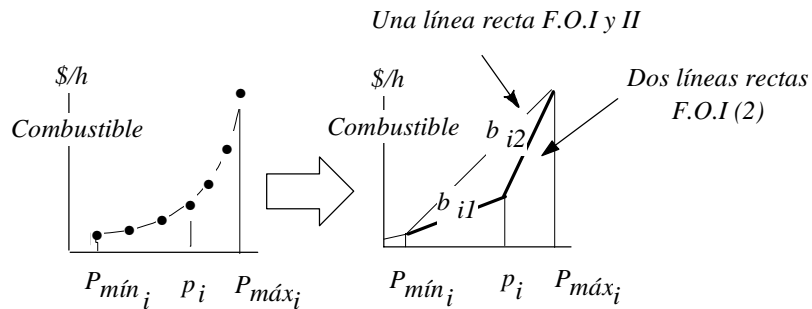


Figura A.2. Curva característica F.O.I (2)

Tabla A.2. Datos F.O.I (2)

| Unidad | b_{i1} | b_{i2} | c_i |
|--------|----------|----------|---------|
| U_1 | 16.569 | 16.729 | 775.110 |
| U_2 | 11.501 | 11.611 | 422.890 |
| U_3 | 12.923 | 13.163 | 285.330 |

ANEXO B: DATOS SISTEMA DE 5 UNIDADES

La siguiente figura, muestra los parámetros a indicar y unidades de medida para este sistema, además se esquematiza la construcción de la función de emisión por tramos y costo de combustible. En el caso de la F.O.I (2), la diferencia en la data utilizada con las F.O.I y II, se presenta en la tabla respectiva.

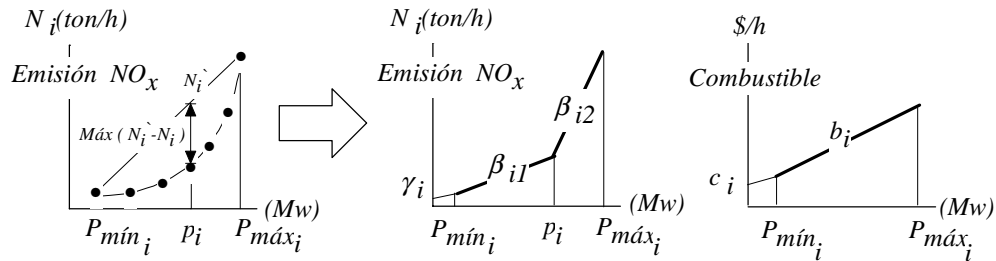


Figura B.1. Curvas características F.O. I y II

Tabla B.1. Datos F.O.I y II

| Unidad | β_{i1} | β_{i2} | γ_i | p_i | b_i | c_i | $P_{mín_i}$ | $P_{máx_i}$ | FOR (q_i) | η_i |
|--------|--------------|--------------|------------|---------|--------|---------|-------------|-------------|------------------|----------|
| U_1 | 0.0010615 | 0.0014867 | 0.0969450 | 66.667 | 9.146 | -27.550 | 25.00 | 100.00 | 0.10 | 0.25 |
| U_2 | 0.0008053 | 0.0023958 | 0.5925500 | 200.000 | 9.612 | -24.500 | 75.00 | 300.00 | 0.12 | 0.25 |
| U_3 | 0.0015844 | 0.0016465 | 0.0368790 | 33.333 | 5.045 | 7.750 | 12.50 | 50.00 | 0.15 | 0.30 |
| U_4 | 0.0011985 | 0.0023199 | 0.0071572 | 300.000 | 13.300 | -94.388 | 112.50 | 450.00 | 0.11 | 0.20 |
| U_5 | 0.0027576 | 0.0030812 | 0.2019600 | 183.360 | 13.999 | -299.61 | 68.80 | 275.00 | 0.14 | 0.20 |

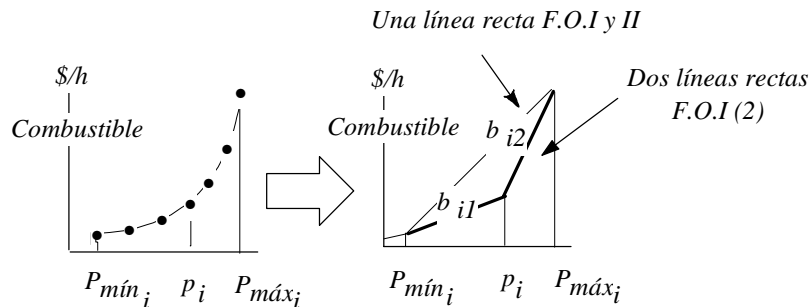


Figura B.2. Curva característica F.O.I (2)

Tabla B.2. Datos F.O.I (2)

| Unidad | b_{i1} | b_{i2} | c_i |
|--------|----------|----------|---------|
| U_1 | 7.596 | 11.083 | 11.200 |
| U_2 | 8.232 | 11.337 | 79.000 |
| U_3 | 4.558 | 5.653 | 13.833 |
| U_4 | 11.275 | 15.831 | 133.420 |
| U_5 | 10.829 | 17.963 | -81.460 |

ANEXO C: DATOS SISTEMA DE 9 UNIDADES

La siguiente figura, muestra los parámetros a indicar y unidades de medida para este sistema, además se esquematiza la construcción de la función de emisión por tramos y costo de combustible. En el caso de la F.O.I (2), la diferencia en la data utilizada con las F.O.I y II, se presenta en la tabla respectiva.

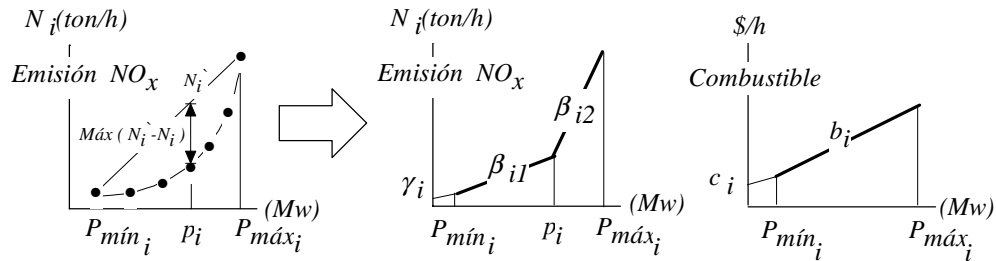


Figura C.1. Curvas características F.O. I y II

Tabla C.1. Datos F.O.I y II

| Unidad | β_{i1} | β_{i2} | γ_i | p_i | b_i | c_i | $P_{mín_i}$ | $P_{máx_i}$ | FOR (q_i) | η_i |
|--------|--------------|--------------|------------|---------|--------|---------|-------------|-------------|------------------|----------|
| U_1 | 0.0018217 | 0.0043500 | 0.0609840 | 153.330 | 12.640 | 85.784 | 45 | 240 | 0.10 | 0.25 |
| U_2 | 0.0018217 | 0.0043500 | 0.0609840 | 153.330 | 12.605 | 100.880 | 45 | 240 | 0.12 | 0.25 |
| U_3 | 0.0039515 | 0.0063121 | -0.1712300 | 372.220 | 12.992 | 149.690 | 275 | 450 | 0.15 | 0.25 |
| U_4 | 0.0037999 | 0.0064313 | -0.4644000 | 261.110 | 14.622 | 169.500 | 150 | 350 | 0.11 | 0.30 |
| U_5 | 0.0037999 | 0.0064313 | -0.4644000 | 261.110 | 14.771 | 123.120 | 150 | 350 | 0.14 | 0.30 |
| U_6 | 0.0031779 | 0.0057547 | -0.6507600 | 572.220 | 17.153 | 480.590 | 350 | 750 | 0.12 | 0.25 |
| U_7 | 0.0026592 | 0.0027937 | 0.2096900 | 112.780 | 17.450 | 85.637 | 35 | 175 | 0.12 | 0.20 |
| U_8 | 0.0026592 | 0.0027937 | 0.2096900 | 112.780 | 17.238 | 87.205 | 35 | 175 | 0.13 | 0.20 |
| U_9 | 0.0017513 | 0.0042229 | 0.0012614 | 153.330 | 15.601 | 234.340 | 45 | 240 | 0.10 | 0.25 |

Tabla C.2. Datos F.O.I (2)

| Unidad | b_{i1} | b_{i2} | c_i |
|--------|----------|----------|---------|
| U_1 | 12.387 | 12.956 | 97.173 |
| U_2 | 12.363 | 12.908 | 111.780 |
| U_3 | 12.835 | 13.189 | 192.910 |
| U_4 | 14.016 | 15.379 | 260.350 |
| U_5 | 14.047 | 15.676 | 231.720 |
| U_6 | 16.477 | 17.998 | 717.310 |
| U_7 | 17.290 | 17.649 | 91.218 |
| U_8 | 16.963 | 17.583 | 96.847 |
| U_9 | 14.647 | 16.793 | 277.260 |

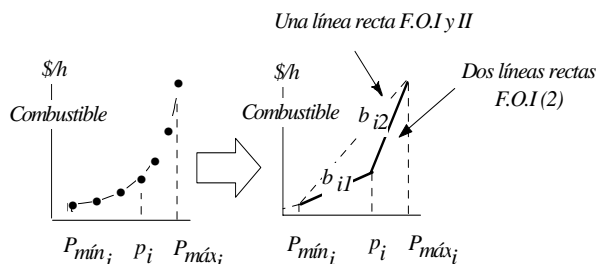


Figura C.2. Curva característica F.O.I (2)

ANEXO D: DATOS SISTEMA DE 18 UNIDADES

La siguiente figura, muestra los parámetros a indicar y unidades de medida para este sistema, además se esquematiza la construcción de la función de emisión por tramos y costo de combustible. En el caso de la F.O.I (2), la diferencia en la data utilizada con las F.O.I y II, se presenta en la tabla respectiva.

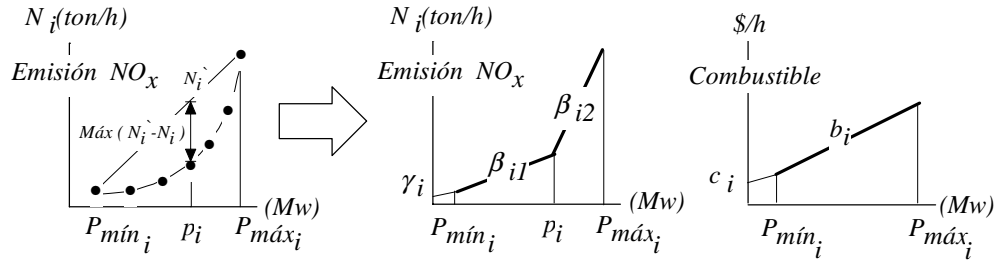


Figura D.1. Curvas características F.O. I y II

Tabla D.1. Datos F.O.I y II

| Unidad | β_{i1} | β_{i2} | γ_i | p_i | b_i | c_i | P_{\min} | P_{\max} | FOR (q_i) | η_i |
|----------|--------------|--------------|------------|---------|--------|---------|------------|------------|---------------|----------|
| U_1 | 0.0016544 | 0.0027079 | 0.0428740 | 121.170 | 6.149 | 63.453 | 65.00 | 166.10 | 0.10 | 0.20 |
| U_2 | 0.0016544 | 0.0027079 | 0.0428740 | 121.170 | 6.149 | 63.453 | 65.00 | 166.10 | 0.10 | 0.20 |
| U_3 | 0.0006733 | 0.0006748 | 0.0516720 | 8.944 | 35.170 | 0.000 | 0.00 | 16.10 | 0.15 | 0.15 |
| U_4 | 0.0026713 | 0.0027363 | 0.1762800 | 104.610 | 12.754 | 75.073 | 65.00 | 136.30 | 0.14 | 0.25 |
| U_5 | 0.0026713 | 0.0027363 | 0.1762800 | 104.610 | 7.134 | 73.443 | 65.00 | 136.30 | 0.12 | 0.18 |
| U_6 | 0.0006751 | 0.0006774 | 0.0516550 | 16.778 | 17.923 | 156.230 | 10.00 | 22.20 | 0.15 | 0.20 |
| U_7 | 0.0006741 | 0.0006766 | 0.0516660 | 14.000 | 25.807 | 83.053 | 5.25 | 21.00 | 0.10 | 0.25 |
| U_8 | 0.0006741 | 0.0006766 | 0.0516660 | 14.000 | 25.807 | 83.053 | 5.25 | 21.00 | 0.10 | 0.25 |
| U_9 | 0.0006768 | 0.0006845 | 0.0516370 | 25.278 | 18.139 | 212.580 | 10.00 | 37.50 | 0.15 | 0.21 |
| U_{10} | 0.0006750 | 0.0006829 | 0.0516660 | 21.611 | 22.448 | 40.594 | 3.00 | 36.50 | 0.20 | 0.18 |
| U_{11} | 0.0006750 | 0.0006829 | 0.0516660 | 21.611 | 22.448 | 40.594 | 3.00 | 36.50 | 0.20 | 0.18 |
| U_{12} | 0.0006865 | 0.0006931 | 0.0513690 | 38.333 | 14.223 | -21.603 | 30.00 | 45.00 | 0.15 | 0.20 |
| U_{13} | 0.0006783 | 0.0006853 | 0.0516040 | 27.500 | 15.309 | 20.307 | 15.00 | 37.50 | 0.14 | 0.25 |
| U_{14} | 0.0006783 | 0.0006853 | 0.0516040 | 27.500 | 15.309 | 20.307 | 15.00 | 37.50 | 0.14 | 0.25 |
| U_{15} | 0.0026345 | 0.0026583 | 0.1787000 | 67.411 | 7.307 | 37.270 | 45.00 | 85.34 | 0.12 | 0.15 |
| U_{16} | 0.0026346 | 0.0026584 | 0.1787000 | 67.478 | 12.817 | 47.703 | 45.00 | 85.46 | 0.10 | 0.19 |
| U_{17} | 0.0026678 | 0.0027230 | 0.1765100 | 100.140 | 6.651 | 19.298 | 65.00 | 128.25 | 0.15 | 0.21 |
| U_{18} | 0.0026686 | 0.0027262 | 0.1764600 | 101.250 | 6.594 | 43.555 | 65.00 | 130.25 | 0.10 | 0.20 |

Tabla D.2. Datos F.O.I (2)

| Unidad | b_{i1} | b_{i2} | c_i |
|----------|----------|----------|---------|
| U_1 | 5.947 | 6.402 | 76.595 |
| U_2 | 5.947 | 6.402 | 76.595 |
| U_3 | 35.170 | 35.170 | 0.000 |
| U_4 | 12.561 | 12.996 | 87.638 |
| U_5 | 6.944 | 7.372 | 85.802 |
| U_6 | 17.205 | 18.821 | 163.400 |
| U_7 | 25.689 | 25.954 | 83.670 |
| U_8 | 25.689 | 25.954 | 83.670 |
| U_9 | 15.455 | 21.494 | 239.420 |
| U_{10} | 20.511 | 24.869 | 46.405 |
| U_{11} | 20.511 | 24.869 | 46.405 |
| U_{12} | 14.032 | 14.461 | -15.883 |
| U_{13} | 14.884 | 15.840 | 26.682 |
| U_{14} | 14.884 | 15.840 | 26.682 |
| U_{15} | 7.239 | 7.393 | 40.336 |
| U_{16} | 12.513 | 13.197 | 61.378 |
| U_{17} | 6.536 | 6.795 | 26.790 |
| U_{18} | 6.527 | 6.677 | 47.890 |

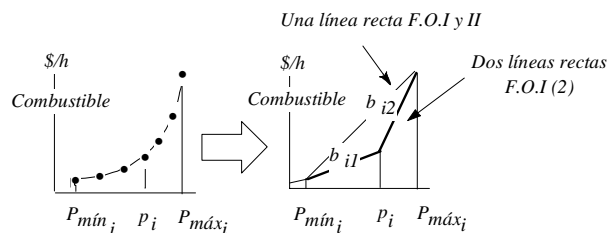


Figura D.2. Curva característica F.O.I (2)

ANEXO E: CURVA DE DEMANDA UTILIZADA

La curva siguiente modela, según sea el caso la demanda determinista y esperada en p.u. del valor máximo, para el período de estudio y presenta la característica de una curva de demanda típica de invierno. El valor máximo de demanda para el período se asume igual a la capacidad máxima del grupo generador que se considere.

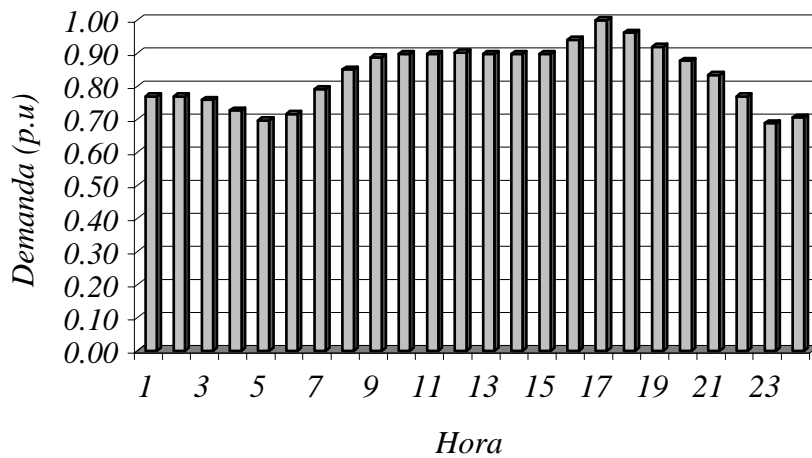


Figura E.1. Demanda determinista (esperada) para el horizonte de estudio

Las siguientes tablas, muestran cuantitativamente la evolución horaria de la curva de demanda que se ha considerado.

Tabla E.1. Demanda horaria

| Hora | Demanda (p.u) |
|------|---------------|
| 1 | 0.7692 |
| 2 | 0.7692 |
| 3 | 0.7586 |
| 4 | 0.7265 |
| 5 | 0.6966 |
| 6 | 0.7158 |
| 7 | 0.7906 |
| 8 | 0.8505 |
| 9 | 0.8868 |
| 10 | 0.8975 |
| 11 | 0.8975 |
| 12 | 0.9017 |

Tabla E.2. Demanda horaria

| Hora | Demanda (p.u) |
|------|---------------|
| 13 | 0.8975 |
| 14 | 0.8975 |
| 15 | 0.8975 |
| 16 | 0.9402 |
| 17 | 0.9710 |
| 18 | 0.9615 |
| 19 | 0.9188 |
| 20 | 0.8761 |
| 21 | 0.8334 |
| 22 | 0.7692 |
| 23 | 0.6880 |
| 24 | 0.7052 |

ANEXO F: PROGRAMACIÓN LINEAL CONVEXA SEPARABLE

Esta técnica es aplicable cuando la función objetivo de minimización de un determinado problema de optimización es separable en una suma de funciones convexas de variables individuales, ajustando de esta manera el problema a uno de programación lineal. Entonces cualquier problema con n variables y m restricciones de la forma:

$$\text{Minimizar } F = \sum_{j=1}^n f_j(x_j)$$

Sujeto a

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j \leq b_i, \text{ para } i=1, 2, \dots, m$$

$$x_j \geq 0, \text{ para } j=1, 2, \dots, n$$

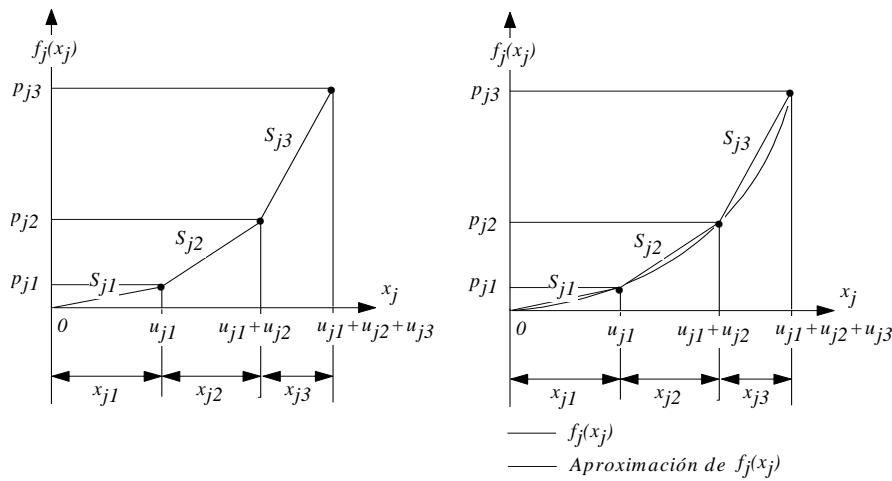


Figura F.1. Forma de las curvas para la programación convexa separable

donde $f_j(x_j)$, puede ser una función seccionalmente lineal o linealizable por tramos, cuya pendiente siempre crece en los puntos de ruptura, tal como muestra la figura anterior, puede ser transformado en el siguiente problema de programación lineal:

$$\text{Minimizar } F = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{k=1}^{n_j} S_{jk} x_{jk} \right)$$

sujeto a

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\sum_{k=1}^{n_j} x_{jk} \right) \leq b_i, \text{ para } i=1, 2, \dots, m$$

$$x_{jk} \leq u_{jk}, \text{ para } k=1, 2, \dots, n_j \text{ y } j=1, 2, \dots, n$$

$$x_{jk} \geq 0, \text{ para } k=1, 2, \dots, n_j \text{ y } j=1, 2, \dots, n$$

En lo anterior x_{jk} , representa el k -ésimo segmento de la función j , n_j el número de segmentos, u_{jk} es una cota superior para x_{jk} , S_{jk} es la pendiente del k -ésimo segmento rectilíneo. El planteamiento, expresa a x_j como una suma de variables x_{jk} .

$$x_j = \sum_{k=1}^{n_j} x_{jk}$$