



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

"ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD DE LA CAPACIDAD DE
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON
PRODUCTORES INDEPENDIENTES DE ENERGÍA".

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A N :
**EVELIA MEDINA MARTÍNEZ
ENRIQUE PRADO ORDÓNEZ**

DIRECTOR DE TESIS:
ING. EDUARDO CARRANZA TORRES



2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON PRODUCTORES INDEPENDIENTES DE ENERGÍA

Objetivo: Analizar la disponibilidad de la capacidad de generación de energía eléctrica de dos centrales de ciclo combinado de Productores Independientes de Energía.

Dedicatorias:

A Dios por ser mi luz, estar siempre en mi corazón y darme fortaleza para saber que no hay límites, que lo que me proponga lo puedo lograr.

A mi padre que es la persona que mas amo, admiro y respeto, el hombre mas sabio que me ha dado todo su cariño, comprensión, que siempre ha estado ahí para apoyarme y guiarme para ser una persona de bien. Simplemente eres el mejor.

A mi madre, que mas amo, la mujer mas extraordinaria, quien ha estado siempre conmigo cuidándome y dándome lo mejor, quien ha sabido ser la mejor amiga y guía en mi vida. Serás siempre mi inspiración para alcanzar mis metas.

A mis hermanos quienes me han dado su apoyo incondicional, siempre han sido un buen ejemplo, de quienes he aprendido muchas cosas y quienes son un pedazo de mi corazón.

Lorena, por transmitirme tu fortaleza y por ponerme siempre los pies en la tierra.

Irma por enseñarme a ser responsable e impulsarme a madurar.

Víctor por mostrarme lo que es el orden, la honestidad y enseñarme que todo lo que se hace con cariño y dedicación siempre sale bien.

A mis cuñados, Martha, Jose Luis y Neftali, por su apoyo y consejos.

A mi "six de enanas" Hannia, Mariana, Karen, Jessica, Daniela y Fernanda por sus travesuras, todo su amor y por permitirme soñar y crecer más con su imaginación.

A quienes considero mis segundos padres y que me han visto crecer, mi tía Agustina y mi tío Ricardo, por su apoyo y cuidados.

A mis primas Elizabeth y Erika por sus consejos y cariño.

A mis abuelos y tío, que ya no están conmigo pero sé que me ven desde arriba, por ser mis ángeles y cuidarme desde allá.

A mis familiares, tíos y primos por todas sus enseñanzas y compañía.

A mis verdaderos amigos Ana Laura A, Marlene E. D. y José G. G, con quienes he vivido muchas aventuras y quienes me han enseñado el valor de la amistad.

A Edgar I Moreno por ser mi mejor amigo, darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente, de aprender, por confiar en mi y apoyarme en muchos de los procesos que aquí tuvieron lugar.

Al Ing. Eduardo Carranza quien compartió conmigo sus experiencias, me dio todo su apoyo y guió a lo largo de esta tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería por ser mi segundo hogar, darme la oportunidad de formar parte de su comunidad y permitirme ser y hacer lo que más me gusta y apasiona.

Gracias, porque sin ustedes no hubiera podido ser lo que ahora soy.

ÍNDICE

| | |
|--|---------------|
| 1. Introducción | - 7 - |
| 2. Industria Eléctrica en México | - 9 - |
| 2.1 MARCO HISTÓRICO DEL SECTOR ELÉCTRICO..... | - 9 - |
| 2.2 SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR ELÉCTRICO..... | - 10 - |
| 2.2.1 <i>Generación de electricidad.</i> | - 11 - |
| 2.3 PROSPECTIVA DEL SECTOR ELÉCTRICO..... | - 13 - |
| 2.4 CENTRO DE CONTROL (CENACE) | - 16 - |
| 2.4.1 <i>Áreas de control.</i> | - 16 - |
| 2.4.2 <i>Tipos de regulación de frecuencia.</i> | - 18 - |
| 2.4.2.1 Regulación primaria..... | - 18 - |
| 2.4.2.2 Regulación secundaria..... | - 19 - |
| 2.4.3 <i>Bitácora de eventos.</i> | - 21 - |
| 2.4.3.1 Despacho | - 21 - |
| 2.4.3.2 Licencia | - 22 - |
| 2.4.3.2.1 Capacidad Declarada Disponible | - 23 - |
| 3. Productor Independiente de Energía..... | - 25 - |
| 3.1 MARCO LEGAL DEL PRODUCTOR INDEPENDIENTE DE ENERGÍA..... | - 25 - |
| 3.2 CENTRALES DE PRODUCTORES INDEPENDIENTES..... | - 26 - |
| 3.3 CAPACIDAD SUMINISTRADA POR LOS PRODUCTORES INDEPENDIENTES AL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL..... | - 27 - |
| 4. Disponibilidad de Centrales | - 30 - |
| 4.1 DISPONIBILIDAD DE CENTRALES ELÉCTRICAS..... | - 30 - |
| 4.2 INDISPONIBILIDAD DE CENTRALES ELÉCTRICAS..... | - 30 - |
| 4.3 EVENTOS QUE CAUSAN INDISPONIBILIDAD..... | - 30 - |
| 4.3.1 <i>Paros por mantenimiento programado.</i> | - 31 - |
| 4.3.2 <i>Paros forzados por falla.</i> | - 31 - |
| 4.3.3 <i>Degradación de Capacidad.</i> | - 31 - |
| 4.3.4 <i>Caso fortuito o fuerza mayor.</i> | - 31 - |
| 4.4 EVENTOS QUE NO CAUSAN INDISPONIBILIDAD..... | - 31 - |
| 4.4.1 <i>Despacho de carga.</i> | - 31 - |
| 4.4.2 <i>Reserva fría.</i> | - 32 - |
| 4.4.3 <i>Reserva rodante.</i> | - 32 - |
| 4.4.4 <i>Reserva caliente.</i> | - 32 - |
| 4.5 INDICADORES DE LA ENERGÍA DISPONIBLE..... | - 32 - |
| 4.5.1 <i>Capacidad.</i> | - 32 - |
| 4.5.1.1 Capacidad Neta..... | - 32 - |
| 4.5.2 <i>La Carga y su indicador gráfico (curva de carga).</i> | - 33 - |
| 4.5.2.1 Factores que afectan a la curva de carga..... | - 33 - |
| 4.5.3 <i>Metodología para la obtención de la energía disponible.</i> | - 43 - |
| 4.5.4 <i>Cálculo de la disponibilidad de la capacidad de generación.</i> | - 44 - |
| 5. Características y cálculos de la disponibilidad de la capacidad de generación de las centrales de CC de los PIE's que se tomaran como muestra..... | - 50 - |
| 5.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS DIFERENTES CENTRALES DE CICLO COMBINADO DE PIE ELEGIDAS..... | - 50 - |
| 5.1.1 <i>Ubicación.</i> | - 50 - |
| 5.1.2 <i>Periodo de tiempo.</i> | - 52 - |
| 5.2 METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS DE ENERGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA DISPONIBILIDAD DE LA CAPACIDAD DE GENERACIÓN..... | - 54 - |



| | |
|--|--------|
| 5.2.3 CENTRAL I | - 55 - |
| 5.2.3.1.1 Curva de energía del mes de enero 2008. | - 55 - |
| 5.2.3.1.2 Bitácora de eventos de la Central I del mes de enero 2008. | - 55 - |
| 5.2.3.1.3 Tabla para análisis de los eventos que causaron indisponibilidad y curva de energía disponible 5 minutal del mes de Enero 2008. | - 56 - |
| 5.2.3.1.4 Energía disponible horaria y curva de energía disponible horaria del mes de enero 2008. | - 59 - |
| 5.2.3.1.5 Memoria de cálculo para la adquisición de la disponibilidad de la capacidad de generación del mes de enero 2008. | - 61 - |
| 5.2.3.2.1 Curva de energía del mes de junio 2008. | - 63 - |
| 5.2.3.2.2 Bitácora de eventos de la Central I del mes de junio 2008. | - 64 - |
| 5.2.3.2.3 Energía disponible 5 minutal y curva de energía disponible 5 minutal del mes de junio 2008. | - 64 - |
| 5.2.3.2.4 Energía disponible horaria y curva de energía disponible horaria del mes de junio 2008. | - 67 - |
| 5.2.3.2.5 Memoria de cálculo para la adquisición de la disponibilidad de la capacidad de generación del mes de junio 2008. | - 69 - |
| 5.2.4 CENTRAL II | - 71 - |
| 5.2.4.1.1 Curva de energía del mes de enero 2008. | - 71 - |
| 5.2.4.1.2 Bitácora de eventos de la Central I del mes de enero 2008. | - 72 - |
| 5.2.4.1.3 Energía disponible 5 minutal y curva de energía disponible 5 minutal del mes de enero 2008. | - 72 - |
| | - 74 - |
| 5.2.4.1.4 Energía disponible horaria y curva de energía disponible horaria del mes de enero 2008. | - 75 - |
| 5.2.3.1.5 Memoria de cálculo para la adquisición de la disponibilidad de la capacidad de generación del mes de enero 2008. | - 77 - |
| 5.2.4.2.1 Curva de energía del mes de mayo 2008. | - 79 - |
| 5.2.4.2.2 Bitácora de eventos de la Central I del mes de mayo 2008. | - 80 - |
| 5.2.4.2.3 Energía disponible 5 minutal y curva de energía disponible 5 minutal del mes de mayo 2008. | - 80 - |
| 5.2.4.2.4 Energía disponible horaria y curva de energía disponible horaria del mes de mayo 2008. | - 83 - |
| 5.2.4.2.5 Memoria de cálculo para la adquisición de la disponibilidad de la capacidad de generación del mes de mayo 2008. | - 85 - |
| CONCLUSIONES | - 87 - |
| BIBLIOGRAFIA | - 88 - |



Capítulo 1

Introducción

1. Introducción

Objetivo: Presentar la importancia de la disponibilidad de la capacidad de generación de energía eléctrica.

El acceso a la electricidad, como fuente de energía para cualquier tipo de actividad industrial, comercial o doméstica es un factor fundamental para el desarrollo de cualquier país.

Por lo tanto el sector energético constituye el sustento y el motor de la economía; los flujos suficientes y oportunos de energía de los lugares de producción a los de consumo en los países, equivalen a la circulación de la sangre, que es indispensable para mantener vivo y en buen funcionamiento a un organismo humano.

La producción y el consumo de energía eléctrica, están dominados por dos caracteres específicos derivados por su propia naturaleza: el primero consiste en la imposibilidad de su almacenamiento en cantidades significativas, por lo que debe ser generada y distribuida en el momento en que se produce su demanda, de ahí que la disponibilidad de la capacidad de generación de éste sector esté obligada a crecer a ritmos superiores al aumento de aquello; el segundo es el incremento de precio que experimenta en tanto que sea mayor la distancia a recorrer entre las centrales generadoras y los centros de consumo.

Un tercer aspecto fundamental a considerar derivado también de su propia naturaleza, es que para vincular geográficamente los sitios donde se produce la electricidad con aquellos en donde se consume, se requiere que la generación, transmisión y distribución estén integrados horizontalmente y funcionen como un verdadero sistema interconectado, de manera continua y coordinada, con una regulación de voltaje dentro de límites aceptables, sin que exista interrupciones o sobrecargas, de ahí que la industria eléctrica, por el carácter sistémico de su estructura y funcionamiento deba ser concebido y operado en forma integral y constituya un monopolio natural. Esto hace que las industrias eléctricas sean intensivas en capital, requieran de una planeación previa que considere el desarrollo industrial y social del país, y sus inversiones tengan que ser anticipadas y amortizadas a largo plazo.

Finalmente en los próximos capítulos abordaremos el principal objetivo de un sistema eléctrico, el cual es abastecer el mercado de energía eléctrica con el menor número de interrupciones, garantizando la capacidad de generación y manteniendo la calidad de la energía ofrecida. Por lo tanto es de gran importancia contar con un sistema eléctrico que ofrezca una alta disponibilidad de generación, esto se refiere contar con plantas generadoras que garanticen su capacidad de generación de energía eléctrica en cualquier momento para satisfacer la demanda del país.



Capítulo 2

Industria Eléctrica en México

2. Industria Eléctrica en México

Objetivo: Introducir al sector eléctrico para formar una base, la cual nos permita tener una visión más amplia del tema a tratar.

2.1 Marco histórico del sector eléctrico.

La generación de energía eléctrica se inició en México a finales del siglo XIX. En 1879 se instaló en León, Guanajuato, la primera planta generadora, misma que fue utilizada por una fábrica textil. Casi inmediatamente se extendió su uso hacia la producción minera y, marginalmente, en la iluminación residencial y pública.



En 1889, operó la primera planta hidroeléctrica en Batopilas, Chihuahua; la cual también extendió sus redes de distribución hacia mercados urbanos y comerciales donde la población era de mayor capacidad económica.

Durante el régimen de Porfirio Díaz se otorgó al sector eléctrico el carácter de servicio público y se colocaron las primeras 40 lámparas "de arco voltaico", se comenzó la iluminación de algunas vías capitalinas. A partir de entonces, algunas compañías internacionales con gran capacidad vinieron a crear filiales: The Mexican Light and Power Company, de origen canadiense (en el centro del país), el consorcio The American and Foreign Power Company (con tres sistemas interconectados en el norte de México) y la Compañía Eléctrica de Chapala (en el occidente). Al iniciarse el siglo XX, México ya contaba con una capacidad de 31 MW, propiedad de empresas privadas.

En 1910 se contaba con una capacidad de 50 MW, de los cuales 80% lo generaba The Mexican Light and Power Company, con el primer gran proyecto hidroeléctrico: la planta Necaxa, en Puebla. En ese período se comenzó el primer esfuerzo para ordenar la industria eléctrica con la creación de la Comisión Nacional para el Fomento y Control de la Industria de Generación y Fuerza, conocida posteriormente como Comisión Nacional de Fuerza Motriz. Y fue hasta, el 2 de diciembre de 1933, cuando se decretó integrar la Comisión Federal de Electricidad (CFE), considerándose por vez primera a la electricidad como una actividad nacional de utilidad pública. Cuatro años después, el 14 de agosto de 1937, CFE entró en operación formal por decreto del Presidente Lázaro Cárdenas del Río.

En una primera etapa CFE se dio a la tarea de construir plantas generadoras para satisfacer la demanda, y con ello beneficiar a más mexicanos mediante el bombeo de agua de riego, el arrastre y la molienda; pero sobre todo, con alumbrado público y alumbrado para casas habitación. Los primeros proyectos de CFE se emprendieron en Teloloapan, Guerrero; Pátzcuaro, Michoacán; Suchiate y Xía, en Oaxaca; Ures y Altar, en Sonora.

En 1938, CFE tenía apenas una capacidad de 64 kW, misma que, en 8 años, aumentó hasta alcanzar 45.594 MW. Entonces, las compañías privadas dejaron de invertir y CFE se vio obligada a generar energía para que éstas la revendieran.

En 1960, de los 2,308 MW de capacidad instalada en el país, CFE aportaba 54%; la Mexican Light, 25%; la American and Foreign 12%, y el resto de las compañías 9%. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de generación y electrificación, para esas fechas apenas 44% de la población contaba con electricidad. Tal situación del Sector Eléctrico Mexicano motivó al entonces Presidente Adolfo López Mateos a nacionalizar la industria eléctrica, el 27 de septiembre de 1960.

A partir de entonces, se comenzó a integrar el Sistema Eléctrico Nacional, extendiendo la cobertura del suministro y acelerando la industrialización del país. Para ello, el Estado mexicano adquirió los bienes e instalaciones de las compañías privadas, mismas que operaban con serias deficiencias por la falta de inversión y problemas laborales. Para 1961, la capacidad total instalada en el país ascendía a 3,250 MW. CFE vendía 25% de la energía que producía. En esos años, la inversión pública se destinó en más de 50% a obras de infraestructura. Con parte de esos recursos se construyeron importantes centros generadores, entre ellos los de Infiernillo y Temascal. Para llegar a una capacidad instalada de 17,360 MW.

En la década de los 80's, el crecimiento fue menos espectacular, principalmente por la disminución en la asignación de recursos. No obstante, en 1991 la capacidad instalada ascendía a 26,797 MW. En 1992 se reforma la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica que introduce la modalidad de Productores Independientes de Energía. Y para 1995 se crea la Comisión Reguladora de Energía, órgano que regula la industria del gas y de electricidad.

En 1999 el Presidente Ernesto Zedillo Ponce de León envía al congreso una reforma constitucional para la apertura del mercado eléctrico que no es aprobada, mas tarde, en junio del año 2000 se inaugura la primera Central de Ciclo Combinado (Mérida III) bajo el esquema de Productor Independiente de Energía.

Debe señalarse que, en los inicios de la industria eléctrica mexicana operaban varios sistemas aislados, con características técnicas diferentes; llegando a coexistir casi 30 voltajes de distribución, 7 de alta tensión para líneas de transmisión y 2 frecuencias eléctricas de 50 y 60 Hz. Eso dificultaba el suministro de electricidad a todo el país, por lo que CFE definió y unificó los criterios técnicos y económicos normalizando los voltajes de operación en el conjunto de instalaciones destinadas a la generación, transmisión, transformación, subtransmisión, distribución y venta de energía eléctrica de servicio público en toda la República (Sistema Eléctrico Nacional SEN), unificó la frecuencia a 60 Hz en todo el país e integró los sistemas de transmisión, en el Sistema Interconectado Nacional que es la porción del Sistema Eléctrico Nacional que permanece unida eléctricamente.

2.2 Situación actual del sector eléctrico.

El Sector Eléctrico se encontraba a cargo de dos empresas paraestatales:

- ❖ *Luz y Fuerza del Centro* que satisfacía la demanda de la Ciudad de México y puntos vecinos, con energía eléctrica que procedía en la mayor parte de Comisión Federal de Electricidad.

Luz y Fuerza del Centro llevaba electricidad a más de 5 millones de usuarios, lo que representa una población atendida superior a 20 millones de habitantes en el Distrito Federal y los Estados de México, Morelos, Hidalgo y Puebla.

- ❖ *Comisión Federal de Electricidad* que satisfacía el 93% de la demanda del país.

Al día de hoy, Comisión Federal de Electricidad satisface toda la demanda del país, más de 127,621 localidades tienen electricidad gracias a que CFE es la empresa que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica para más de 80 millones de mexicanos ofreciéndoles un buen servicio, procurando garantizar altos índices de calidad en todos sus procesos, protegiendo el medio ambiente, promoviendo el desarrollo social y respetando los valores de las poblaciones donde se ubican las obras de electrificación.

CFE es una empresa de clase mundial que participa competitivamente en la satisfacción de la demanda de energía eléctrica nacional e internacional, que optimiza el uso de su infraestructura física y comercial, a la vanguardia en tecnología, rentable, con imagen de una industria relativamente limpia y recursos humanos calificados.

2.2.1 Generación de electricidad.

La generación de energía eléctrica en la Comisión Federal de Electricidad se realiza en centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, eólicas, nucleares, geotérmicas y de combustión interna.

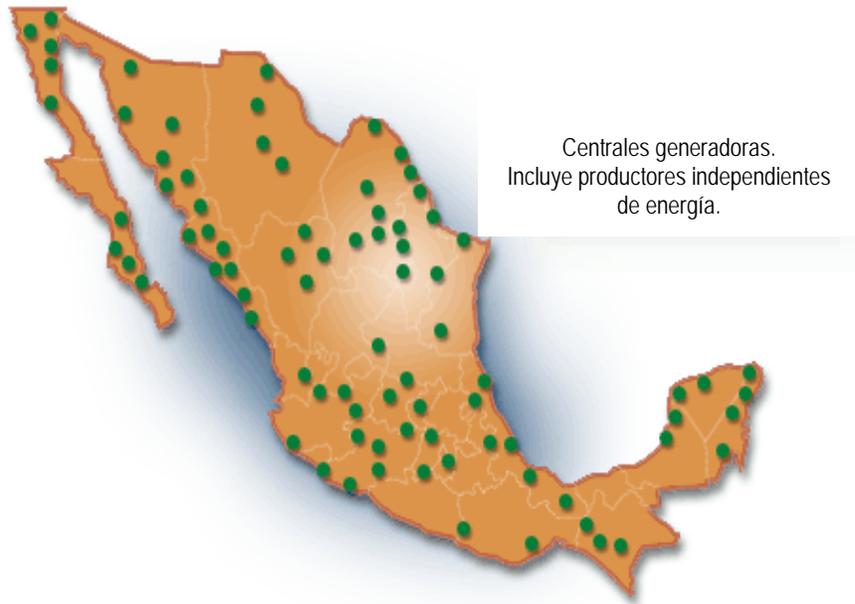
Actualmente, la capacidad de generación de las centrales generadoras instalada en el país es de 49,931 MW como se muestra en la tabla 2.1, mapa 2.1, gráficos 2.1 y 2.2 (Incluye 21 Centrales de productores independientes de energía (PIE) con una capacidad total de 11,456.90 MW), de los cuales 44.87% corresponde a generación termoeléctrica de CFE; 22.95% a productores independientes de energía (PIE); 22.14% a hidroelectricidad; 5.21% a centrales carboeléctricas; 1.93% a geotérmica; 2.73% a nucleoelectrica, y 0.17% a eoloeléctrica.



| 2009 | | |
|----------------|--------------|---------------|
| Capacidad (MW) | CFE | 38,474 |
| | PIE'S | 11,457 |
| | Total | 49,931 |

Tabla 2.1*

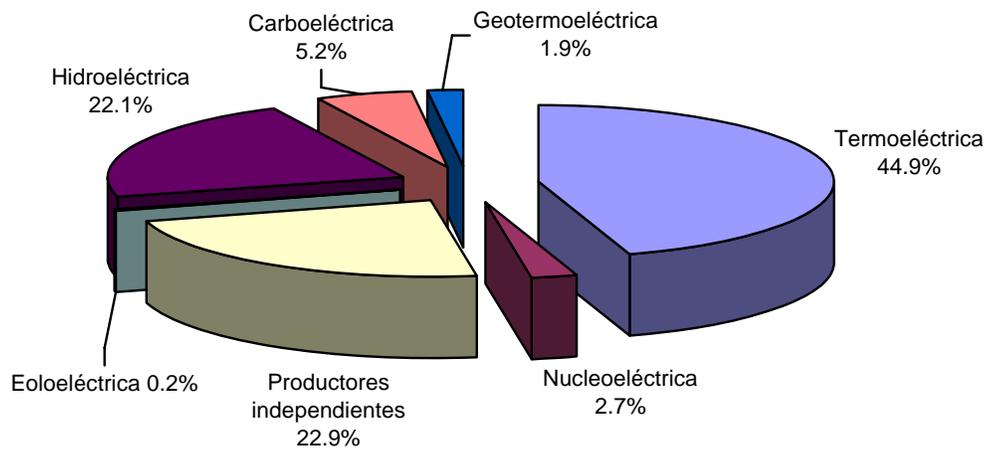
* Información obtenida de la página en línea de CFE www.cfe.gob.mx y del documento Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico POISE 2007-20016.



Mapa 2.1

2.2.1.1 Capacidad efectiva instalada.

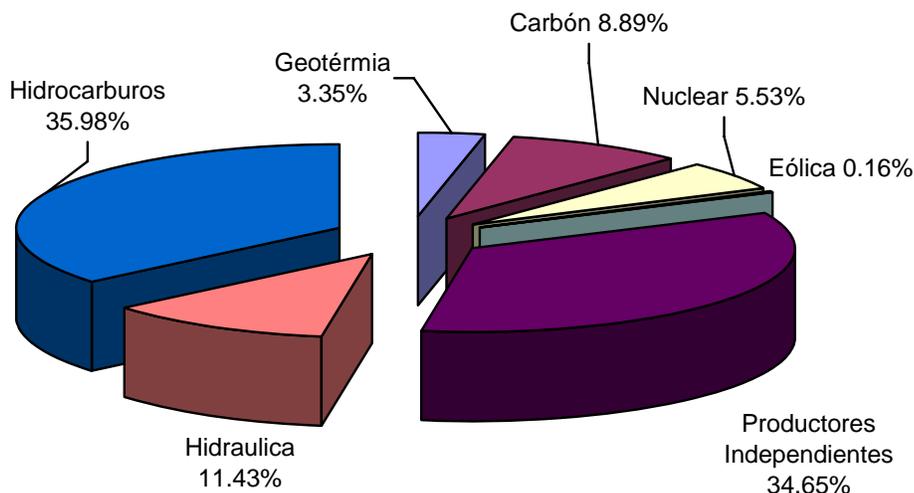
La capacidad efectiva instalada en el país se muestra en la gráfica 2.1.



Gráfica 2.1⁺

2.2.1.2 Generación por fuente.

La generación de electricidad en el país se muestra en la gráfica 2.2.



Gráfica 2.2*

2.3 Prospectiva del sector eléctrico.

Para expandir el Sistema Eléctrico Nacional se determina seleccionando aquellos proyectos que minimizan los costos actualizados de inversión, operación y energía no suministrada en el horizonte de estudio. Es decir, se elabora un plan óptimo basado en el análisis técnico-económico de diversas alternativas, mediante modelos que optimizan el comportamiento del sistema ante diversas condiciones de operación.

Los análisis se realizan para el mediano y largo plazo con base en las premisas de demanda, precios de combustible, costos y eficiencia de las opciones tecnológicas de energía eléctrica.

El objetivo en la expansión del sistema es determinar el plan que minimice los costos de inversión, operación y falla.

En los últimos años ha cobrado especial importancia la participación de la iniciativa privada en la generación de energía eléctrica bajo la modalidad de productores independientes de energía. La instalación de sus nuevas centrales influirán de manera importante en el desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional, ya que al incorporar estos proyectos se agregará un elemento adicional de incertidumbre en la planificación del Sistema Eléctrico Nacional, pues si estos no se concretan, se reduciría la confiabilidad del suministro al no disponerse de los plazos necesarios para instalar otras centrales.

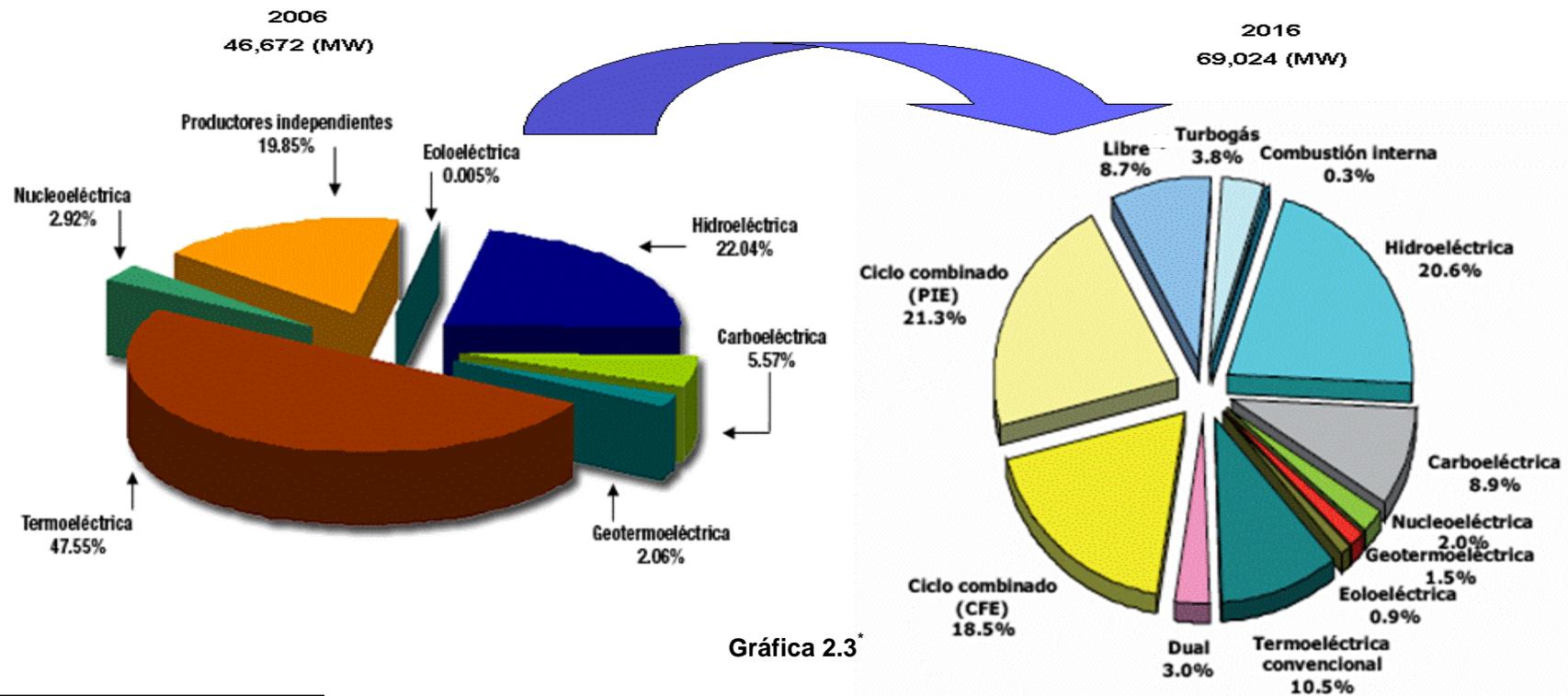
Así, se puede planificar la expansión de la capacidad de generación del país para los próximos 10 años como se muestra en la tabla 2.2 y la gráfica 2.3 y se puede planificar la capacidad adicional requerida por el Sistema Eléctrico Nacional para los próximos 10 años combinando de diversas maneras las tecnologías disponibles como se muestra en la tabla 2.3 y en la gráfica 2.4.

* Información obtenida de la página en línea de CFE www.cfe.gob.mx

Capacidad de generación 2006-2016 (MW)

| Año | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Capacidad de Generación (MW) | 46,672 | 49,854 | 49,890 | 49,931 | 53,508 | 54,675 | 56,785 | 58,599 | 61,851 | 65,981 | 69,024 |

Tabla 2.2*



Gráfica 2.3*

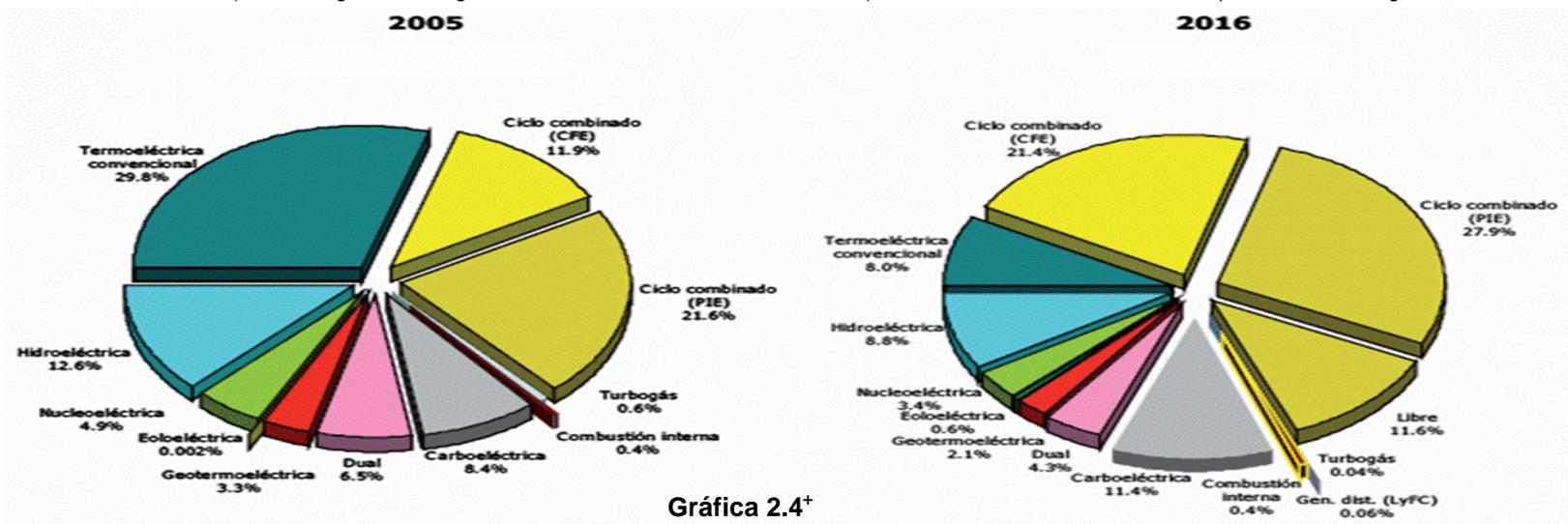
* Información obtenida del documento Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico POISE 2007-20016.

Capacidad adicional por tecnología 2006-2016 (MW)

| Tecnología | En construcción o licitación | Licitación futura | Total |
|--------------------|------------------------------|-------------------|---------------|
| Ciclo combinado | 4,238 | 7,946 | 12,184 |
| Hidroeléctrica | 1,504 | 2,205 | 3,709 |
| Carboeléctrica | 678 | 2,800 | 3,478 |
| Geotermoeléctrica | 0 | 158 | 158 |
| Turbogas | 0 | 379 | 379 |
| Combustión interna | 46 | 25 | 71 |
| Eoloeléctrica | 83 | 506 | 589 |
| Libre* | 0 | 6,021 | 6,021 |
| Total | 6,549 | 20,040 | 26,589 |

Tabla 2.3*

*Ciclo combinado (utilizando gas natural, gas natural licuado, residuos de vacío, etc.) carboeléctrica, nucleoeeléctrica o importación de energía.



Gráfica 2.4*

* Información obtenida del documento Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico POISE 2007-20016.

2.4 Centro de Control (CENACE)

A raíz de la nacionalización de la industria eléctrica, cuando la CFE empezó a adquirir el control de los pequeños sistemas y de las plantas generadoras que existían, se hizo necesario tener una entidad que controlara la operación de esos sistemas que antes, al ser privados, operaban en forma independiente y un poco descoordinados. Dos años después de la nacionalización de la industria eléctrica se creó la llamada “Oficina de Operación Nacional de Sistemas” en la ciudad de México; posteriormente se crearon, en varias partes del país, las oficinas de Operación de Sistema que es el antecedente de lo que hoy es el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE).

En esa época no existía la interconexión del país que se tiene actualmente, sino que había sistemas aislados, por ejemplo, el sistema Chihuahua - Torreón, la parte de Nuevo León y Tamaulipas que estaba interconectada con Estados Unidos, y poco a poco, CFE hizo un esfuerzo importante para la integración de esos sistemas con el fin de interconectarlos y llegar a lo que actualmente es el Sistema Interconectado Nacional controlado por el CENACE

Así, el CENACE realiza el despacho de energía eléctrica, se encarga de la operación y control del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) con calidad y eficiencia económica y mantiene la continuidad en el suministro, la calidad en el servicio y la seguridad en la operación y economía global respetando las restricciones ambientales.

En el Sistema Eléctrico Nacional, se establecen 2 niveles importantes operativos, técnicamente dependientes del CENACE y subordinados entre sí:

| | |
|---------------------------------------|--|
| CENAL (Centro Nacional del CENACE) | Planea, coordina y supervisa la generación de energía y la seguridad de la red troncal nacional. La seguridad, la calidad de la frecuencia y la economía global del SEN son los objetivos básicos atendidos en este nivel. El CENAL tiene autoridad técnica y administrativa sobre los subsecuentes niveles. |
| Áreas de Control (Son 8) | A cada una de estas áreas les corresponde supervisar la generación y mantener la seguridad, la continuidad y la calidad en la red de transmisión, en una área geográfica determinada. |

2.4.1 Áreas de control.

Por motivos de planeación y operación del Sistema Eléctrico Nacional, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) divide al país en 8 áreas geográficas llamadas Áreas de Control como lo muestra el mapa 2.2.

La operación de estas áreas está bajo la responsabilidad de centros de control. Para la parte de Sonora y Sinaloa, el área de control está en *Hermosillo*, Sonora; para la zona del norte que incluye Durango, Chihuahua y un fragmento de Coahuila, el centro de control está en *Gómez Palacio*, Durango; para Tamaulipas, Nuevo León y parte de San Luis Potosí, en lo que es La Huasteca, el centro de control está en *Monterrey*, Nuevo León; para la parte de occidente, Jalisco, Aguascalientes y todo el Bajío, el área de control está en *Guadalajara*, Jalisco; para la zona metropolitana del D.F., Estado de México, Hidalgo, parte de Puebla y Morelos, es decir, el área central, el

control se localiza en la *ciudad de México*; para la parte sureste oriental, el centro de control está en *Puebla*, Puebla y, para la parte de la Península, el centro de control está en *Mérida*, Yucatán; Baja California es administrada desde *Mexicali*. Todas ellas se encuentran coordinadas por el CENACE en el Distrito Federal.

Las áreas de la península de Baja California permanecen como sistemas aislados aunque Baja California (Norte) opera ligada con la red eléctrica de la región occidental de Estados Unidos de América esto ha permitido a CFE realizar exportaciones e importaciones de capacidad y energía, y recibir apoyo en situaciones de emergencia. Las otras 7 áreas están interconectadas y forman el Sistema Interconectado Nacional. Su objetivo es compartir los recursos y reservas de capacidad ante la diversidad de las demandas. Esto hace posible el intercambio de energía para lograr un funcionamiento más económico y confiable en su conjunto.

Áreas de Control:

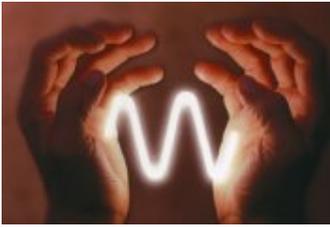
- 1.- Central
- 2.- Oriental
- 3.- Occidental
- 4.- Noroeste
- 5.- Norte
- 6.- Noreste
- 7.- Baja California
- 8.- Peninsular



Mapa 2.2

2.4.2 Tipos de regulación de frecuencia.

En los últimos años, la regulación de frecuencia ha adquirido gran prioridad para un Sistema Eléctrico de Potencia, ya que la carga total del sistema está cambiando cada instante, de manera aleatoria, debido a la distinta variación de los requerimientos de cada uno de los consumos parciales, a la conexión y desconexión de cargas, todo esto periodo provoca alteraciones en la cantidad de potencia demandada que afecta a la frecuencia.



En un sistema interconectado grande, muchas centrales generadoras grandes y pequeñas están conectadas sincronamente y por esto tienen la misma frecuencia, al variar esta se perjudica al sistema. Esto puede deberse a que la producción de los generadores en cualquier instante difiera de la carga del sistema. Si la salida es más elevada de lo que la demanda exige, las máquinas tenderán a aumentar su velocidad y la frecuencia aumentará y viceversa, por lo tanto, la frecuencia no es una magnitud constante sino que varía continuamente; éstas variaciones son normalmente pequeñas y no son percibidas por la mayor parte de los consumidores.

Es conveniente que la distribución de la potencia requerida entre los generadores se determine antes que se produzca la solicitud de la carga, por lo tanto, debe predecirse haciendo un análisis de las cargas experimentadas en el mismo período en los años anteriores.

El control de frecuencia y la asignación de carga a los generadores se pueden efectuar de manera completamente automática o por decisiones y acciones de técnicos encargados del Despacho. Para ello debe contarse con un rango de frecuencia. La frecuencia nominal del Sistema Eléctrico Nacional es 60 Hz y permanece constante mientras haya un balance exacto entre la generación y la demanda más las pérdidas, si no es así deberá mantenerse dentro de los límites establecidos en las Normas Técnicas para condiciones normales y de emergencia dichos límites son entre 59.95 Hz y 60.05 Hz

Existen distintos mecanismos de regulación que pueden estar limitados a un determinado generador, es decir, a la central eléctrica o instalados para regular el sistemas interconectado completo. Así, el control de frecuencia se obtendrá por los siguientes medios:

2.4.2.1 Regulación primaria.

Se produce cuando la regulación de frecuencia se realiza sin el uso automatizado del control carga-velocidad, es decir mediante el gobernador de las unidades generadoras, además de controlar la potencia generada por cada máquina. Dicho en otras palabras, la regulación primaria es la respuesta automática medida en MW de la unidad generadora al activarse el sistema de gobierno de la misma, ante un cambio en la frecuencia eléctrica del sistema con respecto a su valor nominal.

La estabilidad natural del sistema eléctrico lleva la generación a un nuevo punto de equilibrio con la carga, pero a costa de un cambio en la frecuencia, es decir, ante una

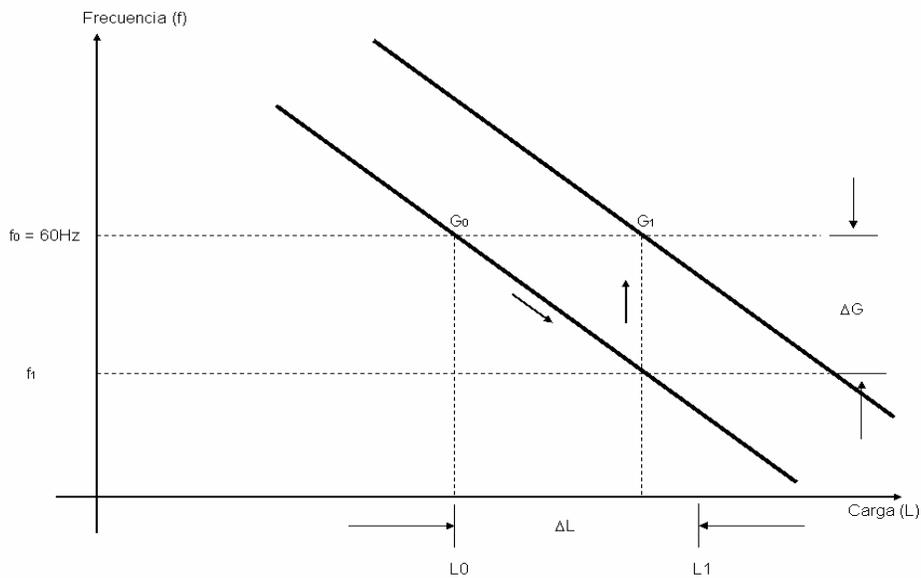
- ✓ En conjunto con el despacho minimizan costos de producción, respetando las restricciones de red, límites de reserva y operativos.

Así, los beneficios que obtenemos son:

- ❖ Estabilidad de operación.
- ❖ Calidad de operación.
- ❖ Costos de operación.

Su función es regular con maniobras rápidas, suaves y estables, la salida de generación de las unidades en línea, controladas automáticamente dentro del área correspondiente en respuesta a cambios en la frecuencia del sistema, en la carga de las líneas de enlace, o en la relación entre ellas. Lo anterior con la finalidad de mantener la frecuencia programada dentro del sistema y/o el intercambio de potencia deseado con otras áreas dentro de límites predeterminados.

El AGC asigna un nuevo punto de operación en las unidades generadoras para mantener el balance generación – carga al valor de la frecuencia programada, es decir, asigna el cambio de generación necesario para equilibrar la generación – carga a 60 Hz como lo muestra la gráfica 2.6.



Gráfica 2.6

2.4.3 Bitácora de eventos.

Es el registro escrito de las acciones que se llevaron a cabo en la operación de una central eléctrica elaborado por el Centro de Control correspondiente a dicha central. Una bitácora de eventos incluye todos los sucesos que tuvieron lugar durante la realización de alguna operación, las fallas que se tuvieron y los cambios que se hicieron. Algunos de esos sucesos pueden ser un despacho o una licencia.

El formato de una Bitácora de Eventos puede ser como se muestra en el formato 2.1.

| FECHA | | | | | | | |
|-------------|----------|--------------------|--------------|------|----------|-------|---------------|
| HORA INICIO | HORA FIN | CLAVE DE OPERACIÓN | LICENCIA No. | NODO | CDD [MW] | CAUSA | OBSERVACIONES |

Formato 2.1

2.4.3.1 Despacho.

El despacho consiste en la asignación del nivel de generación de las unidades generadoras, para la adquisición de energía eléctrica, considerando los flujos de potencia en líneas de transmisión, subestaciones y equipo.

Un ejemplo de un despacho solicitado a una central de Ciclo Combinado como Dos Bocas (ubicada en Veracruz, del área de control Oriental, con una capacidad de 452MW) y registrado en la Bitácora de Eventos puede ser como se muestra en el formato 2.2

| FECHA | 31/12/2006 | | | | | | |
|---------------------|------------|--------------------|--------------|--------------|----------|----------|--------------------------------|
| HORA INICIO | HORA FIN | CLAVE DE OPERACIÓN | LICENCIA No. | NODO | CDD [MW] | CAUSA | OBSERVACIONES |
| 31/12/2006 08:07 | | I | | DOS BOCAS | | DESPACHO | SE SOLICITA CARGA DE 286 MW |

Formato 2.2

El despacho y operación del Sistema Eléctrico Nacional tienen como finalidad proporcionar servicio público de energía eléctrica y hacer que se cumpla con los siguientes objetivos:

Seguridad

Que es la condición operativa del Sistema Eléctrico Nacional, en el que si ocurre una primera contingencia, éste permanece operando sin exceder la capacidad de los equipos, dentro de los rangos permitidos de tensión y frecuencia eléctricas, evitando la afectación a los usuarios, es decir se obliga a mantener las condiciones del Sistema Eléctrico de Potencia dentro de márgenes operativos que eviten o minimicen la ocurrencia de disturbios.

Continuidad

Consiste en la acción de suministrar ininterrumpidamente el servicio de energía eléctrica a los usuarios de acuerdo con la normatividad y reglamentos vigentes aplicables.

Calidad

Es la condición de tensión, frecuencia y forma de onda del servicio de energía eléctrica a los usuarios, tal como lo establece el Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, es decir, implica el mantener el suministro de energía eléctrica dentro de los estándares internacionales en los valores de voltaje y frecuencia.

Economía

Que implica el menor costo global del kWh, resultante del uso óptimo de los recursos energéticos, de generación y de red, considerando las unidades generadoras más convenientes y a la asignación de potencia más adecuada, según la disponibilidad, las restricciones ambientales, el costo y consumo de energéticos, las pérdidas en transmisión, y los contratos existentes.

2.4.3.2 Licencia.

Es la autorización especial que se concede a un trabajador para que este y/o el personal a sus órdenes se protejan, observen o ejecuten un trabajo en relación con un equipo o parte de él, o en equipos cercanos, en estos casos se dice que el equipo estará en "licencia".

Un ejemplo de una licencia solicitada a una central de Ciclo Combinado como Dos Bocas (ubicada en Veracruz, del área de control Oriental, con una capacidad de 452 MW) y registrada en la Bitácora de Eventos puede ser como se muestra en el formato 2.3.

| FECHA | 11/12/2006 | | | | | | |
|------------------|------------------|--------------------|--------------|-----------|----------|------------|---|
| HORA INICIO | HORA FIN | CLAVE DE OPERACIÓN | LICENCIA No. | NODO | CDD [MW] | CAUSA | OBSERVACIONES |
| 11/12/2006 01:52 | 11/12/2006 09:57 | L/TL | 193 | DOS BOCAS | | EMERGENCIA | INDISPONIBLE A CARGA MAXIMA POR DISPARO DE UNIDAD (ALTA TEMPERATURA EN TURBINA DE GAS). |

Formato 2.3

Además, las licencias se clasifican en:

- *Vivo*: se ejecuta algún trabajo en equipo energizado.
- *Muerto*: se ejecuta algún trabajo en equipo desenergizado.

- *Programadas:* se ejecuta algún trabajo de mantenimiento preventivo en elementos, dispositivos o equipos que se encuentran en condiciones normales de operación.
- *Emergencia:* se ejecuta algún trabajo inmediato en elementos, dispositivos o quipos que se encuentran en condiciones críticas de operación.

Cualquier trabajo de mantenimiento, modificaciones, ampliaciones y actividades necesarias para poner en servicio algún equipo que presentó algún daño u otras actividades necesarias para el buen funcionamiento de las centrales eléctricas será acreedor de una licencia que deberá tener un término cuando el equipo y la central estén trabajando de una manera normal.

Así, con el fin de optimizar el tiempo que el equipo se encuentra bajo una licencia, los Centros de Control se encargan de coordinar las diferentes centrales eléctricas para lograr que las licencias se aprovechen al máximo, además de proporcionar un número de registro a cada una de las solicitudes de licencia para su identificación.

2.4.3.2.1 Capacidad Declarada Disponible.

Es importante mencionar que solamente durante un periodo de licencia puede presentarse una Capacidad Declarada Disponible (CDD), la cual es la Capacidad Neta Declarada como Disponible.

Un ejemplo de una licencia solicitada a una central de Ciclo Combinado como Dos Bocas (ubicada en Veracruz, del área de control Oriental, con una capacidad de 452 MW) y con una declaración de capacidad disponible registrada en la Bitácora de Eventos puede ser como se muestra en el formato 2.4

| FECHA | | 12/12/2006 | | | | | |
|---------------------|---------------------|--------------------|--------------|-----------|----------|------------|---|
| HORA INICIO | HORA FIN | CLAVE DE OPERACIÓN | LICENCIA No. | NODO | CDD [MW] | CAUSA | OBSERVACIONES |
| 12/12/2006 03:50 | 12/12/2006 05:51 | L/TL | 194 | DOS BOCAS | 350 | EMERGENCIA | INDISPONIBLE A CARGA MAXIMA POR DISPARO DE UNIDAD (ALTA TEMPERATURA EN TURBINA DE GAS), DECLARAN 350MW NETOS COMO CARGA MAXIMA DISPONIBLE |

Formato 2.4



Capítulo 3

Productor Independiente de Energía

3. Productor Independiente de Energía

Objetivo: Explicar ¿qué es un Productor Independiente de energía y cómo esta constituido?.

3.1 Marco Legal del productor Independiente de Energía.

En el aprovechamiento de los recursos para la generación de energía eléctrica, se han determinado leyes y reglamentos que regulan su establecimiento y operación. Esta regulación está enfocada, dependiendo de la capacidad de generación y del fin que se le dé a la energía eléctrica generada, a obtener el mayor beneficio de la inversión hecha y a proporcionar el mejor servicio a los usuarios.

Históricamente el sector energético mexicano ha permanecido prácticamente cerrado a la inversión privada. El Estado Mexicano ejerce constitucionalmente la conducción del mismo a través de empresas estatales, que constituyen prácticamente monopolios verticalmente integrados. Sin embargo, ante la irremediable globalización económica y la falta de recursos fiscales suficientes para mantener un sector energético eficiente, durante los últimos años se ha permitido la apertura parcial a la inversión privada en la industria Eléctrica.

La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)[‡] establece las condiciones mediante las cuales podrán otorgarse permisos para la producción independiente de energía eléctrica:

Artículo 36. La Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, considerando los criterios y lineamientos de la política energética nacional y oyendo la opinión de la Comisión Federal de Electricidad, otorgará permisos de autoabastecimiento, de cogeneración, de producción independiente, de pequeña producción o de importación o exportación de energía eléctrica, según se trate, en las condiciones señaladas para cada caso:

[...]

III. De Producción Independiente para generar energía eléctrica destinada a su venta a la Comisión Federal de Electricidad, quedando ésta legalmente obligada a adquirirla en los términos y condiciones económicas que se convengan. Estos permisos podrán ser otorgados cuando se satisfagan los siguientes requisitos:

- a) ...
- b) ...
- c) ...

[‡] Ley disponible en: <http://www.cre.gob.mx/marco/normateca/011-LEY%20DEL%20SERVICIO%20PUBLICO%20DE%20ENERGIA%20ELECTRICA.pdf>

- d) Que los solicitantes se obliguen a vender su producción de energía eléctrica exclusivamente a la Comisión Federal de Electricidad, mediante convenios a largo plazo, en los términos del Artículo 36-Bis o, previo permiso de la Secretaría en los términos de esta Ley, a exportar total o parcialmente dicha producción.

Es decir, los Productores Independientes están obligados a vender, en México, exclusivamente a la CFE la energía generada y ésta última a adquirirla bajo los términos y condiciones establecidos mediante convenios de largo plazo.

Así, mediante los esquemas de productor independiente o "productor externo de energía" (PEE). Los particulares instalan plantas de generación, que fortalecen la capacidad de las CFE para prestar el servicio público de electricidad.

Mediante el esquema de "productor externo", el inversionista privado invierte en la construcción de la planta, por lo que es su propietario. Dicho inversionista la opera y produce energía eléctrica, que vende exclusivamente a la CFE mediante un contrato a 25 años en el que se establece el precio de venta en condiciones mutuamente benéficas. Dicho productor no tiene nada de independiente porque depende de CFE, su único comprador, y a largo plazo.

La modalidad "Construir, Arrendar y Transferir" (CAT), permite a CFE establecer un convenio con inversionistas privados para que éstos construyan con recursos propios una planta de generación, que será arrendada a la CFE para que ésta la opere con su propio personal, a cambio de una renta que se paga mensualmente. La renta de la planta es con opción de compra, por lo que después de cierto tiempo el inversionista privado transfiere la propiedad a la CFE. Al igual que en el caso anterior, la empresa seleccionada pasa por una licitación pública internacional, y por lo tanto gana la mejor oferta, asegurando a CFE los menores costos de generación. Este mecanismo resulta benéfico para CFE, pues quien invierte para incrementar la capacidad de generación es la empresa privada, y quien la opera es CFE, a cambio de una renta que es pagada mes a mes, con los recursos que generan las ventas de energía producida por la propia planta arrendada.

3.2 Centrales de productores independientes.

En la tabla 3.1 se presentan los permisos de producción independiente, con su respectiva ubicación de la planta, que se encuentran publicados en la página de la Comisión Reguladora de Energía[§] (CRE):

| | | |
|---|---|---|
| Iberdrola Energía Tamazunchale (Tamazunchale, S.L.P.) | Energía Chihuahua (Ciudad Juárez, Chih.) | Iberdrola Energía Monterrey (Pesquería, N.L.) |
| Electricidad Sol de Tuxpan (Tuxpan, Ver.) | Iberdrola Energía Altamira (Altamira, Tamps.) | Electricidad Águila de Tuxpan (Tuxpan, Ver.) |

[§] Página de Internet de la CRE: www.cre.gob

| | | |
|--|--|---|
| Compañía de Generación Valladolid (Valladolid, Yuc.) | Fuerza y Energía de Tuxpan (Tuxpan, Ver.) | Energía Azteca VIII (San Luis de la Paz, Gto.) |
| Energía Altamira (Altamira, Tamps.) | Energía Azteca X (Mexicali, B.C.) | Central Saltillo (Ramos Arizpe, Coah.) |
| Iberdrola Energía La Laguna (Gómez Palacio, Dgo.) | Fuerza y Energía de Naco-Nogales (Agua Prieta, Son.) | Central Río Bravo (Valle Hermoso, Tamps.) |
| Central Valle Hermoso (Valle Hermoso, Tamps.) | Electricidad Águila de Altamira (Altamira, Tamps.) | Fuerza y Energía de Hermosillo (Hermosillo, Son.) |
| Central Lomas de Real (Valle Hermoso, Tamps.) | Energía Campeche (Palizada, Camp.) | AES Mérida III (Mérida, Yuc.) |

Tabla 3.1

3.3 Capacidad suministrada por los productores independientes al sistema interconectado nacional.

De la capacidad efectiva instalada de generación, 22.95% corresponde a Productores Externos de Energía (PEE), como se muestra en la tabla 3.1, la cual incluye 21 centrales en operación comercial.

Para cumplir con el objetivo de CFE de cubrir las necesidades de energía del país, se ha ido aumentando la capacidad de generación de electricidad bajo el esquema PEE, como se aprecia en la siguiente tabla 3.2:

****Tabla 3.2**

| Proyecto | Capacidad Neta Demostrada (MW) |
|-----------------|---------------------------------------|
| Mérida III | 484 |
| Hermosillo | 250 |
| Saltillo | 247.5 |
| Tuxpan II | 495 |
| Río Bravo II | 495 |
| Bajío (El Sauz) | 495 |
| Monterrey III | 449 |
| Altamira II | 495 |
| Campeche | 252.4 |
| Naco Nogales | 258 |

** Información obtenida de la página en línea de CFE www.cfe.gob.mx

| Proyecto | Capacidad Neta Demostrada (MW) |
|------------------|---|
| Rosarito 10 y 11 | 489.1 |
| Tuxpan III y IV | 983 |
| Altamira II y IV | 1036 |
| Chihuahua III | 259 |
| Río Bravo III | 495 |
| Río Bravo IV | 500 |
| La Laguna II | 498 |
| Valladolid III | 525 |
| Altamira V | 1121 |
| Tuxpan V | 495 |
| Tamazunchale | 1135 |



Capítulo 4

Disponibilidad de Centrales

4. Disponibilidad de Centrales

Objetivo: Presentar el concepto de disponibilidad de una central eléctrica y las causantes de ésta.

Comisión Federal de Electricidad tiene incluidos proyectos de construcción de nuevas centrales, así como también de mantenimiento y rehabilitación de las centrales ya existentes y paga a los productores independientes de energía con los cuales firma convenios dos conceptos:

1. Pago por la energía eléctrica entregada en el punto de interconexión. Este pago deberá reflejar los costos variables.
2. Pago por la capacidad de generación ajustado por un factor de disponibilidad (que puede ser menor, mayor o igual a 1 o inclusive igual a cero en dependencia de la disponibilidad). Este pago debe reflejar los costos fijos. Dicho pago es independiente del nivel de producción ya que depende del factor de disponibilidad de la capacidad de generación.

Debido a ello, se tiene asegurado que a mediano plazo, estas acciones permitan que los índices de disponibilidad de generación se eleven, al cumplirse esto se está asegurando un buen servicio, por ello es importante abordar el tema de la disponibilidad de una central generadora de energía y sus causantes.

4.1 Disponibilidad de Centrales Eléctricas.

Es la característica que tienen las centrales generadoras de energía eléctrica, de producir potencia a su plena capacidad en el momento preciso en que el despacho de carga se lo demande, esto se convierte en un factor que indica el porcentaje de tiempo en que una central generadora estuvo disponible para dar servicio, independientemente de que se haya requerido o no su operación. Como caso contrario se tiene la indisponibilidad de centrales eléctricas definido a continuación.

4.2 Indisponibilidad de Centrales Eléctricas.

Es el estado donde la central generadora está inhabilitada total o parcialmente para suministrar energía por causa de alguna acción programada o fortuita tal como: mantenimiento, falla, degradación de capacidad y/o causas ajenas.

4.3 Eventos que causan indisponibilidad.

Existen algunos eventos que provocan que la central quede inhabilitada para proporcionar energía, es decir, eventos que causan indisponibilidad de la central, dichos eventos toman tal importancia que se vuelve necesaria su explicación, estos pueden ser: paros por mantenimiento programado, paros forzados por falla,



degradación de capacidad y algún caso fortuito o de fuerza mayor cabe resaltar que por tal importancia, el área de control correspondiente le asigna a cada evento una licencia, misma que cuenta con un inicio y un fin además de contar con un número que es progresivo para cada licencia el cual sirve para su identificación

4.3.1 Paros por mantenimiento programado.

Significa una interrupción programada de la capacidad de generación de la central o de cualquiera de sus unidades que se lleva a cabo con el propósito de realizar una inspección, prueba, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, reparaciones, reemplazos o mejoras con respecto a la central.

4.3.2 Paros forzados por falla.

La Indisponibilidad por paro forzado por falla se presenta cuando la central generadora esta fuera de operación, debido a la salida total de una unidad generadora, por la ocurrencia de fallas en los equipos de la central.

4.3.3 Degradación de Capacidad.

La Indisponibilidad por degradación de capacidad se presenta cuando una unidad o la central generadora disminuye su potencia máxima, sin salir de línea, por problemas de funcionamiento en algunos de sus componentes.

4.3.4 Caso fortuito o fuerza mayor.

Lo constituye cualquier hecho que es imprevisto y no es posible resistir. Esto incluirá de manera no limitativa: Fenómenos de la naturaleza, tales como tormentas, inundaciones, rayos y terremotos, guerras, disturbios civiles, revueltas, insurrecciones, sabotaje y embargos comerciales en contra de México, desastres de transporte, ya sean marítimos, de ferrocarril, terrestres o aéreos, huelgas u otras disputas laborales fuera de México que retrasen la entrega de cualquier equipo principal, incendios, fallas mecánicas en un componente importante del sistema de generación, la falta de entrega de combustible.

4.4 Eventos que no causan indisponibilidad.

Por el contrario, existen otros eventos que deben ser definidos, ya que si éstos se presentan no afectaran la producción de potencia a plena capacidad de la central generadora en el momento en que el despacho de carga lo demande, estos eventos son: despacho de carga, reserva fría, reserva rodante y reserva caliente.

4.4.1 Despacho de carga.

Control operativo del sistema eléctrico nacional, ejercido por la Comisión, que determina la asignación del nivel de generación de unidades generadoras, tanto propias como de permisionarios con quienes hubiere celebrado convenios para la adquisición de energía eléctrica, considerando los flujos de potencia en líneas de transmisión, subestaciones y equipo.

4.4.2 Reserva fría.

Es la cantidad expresada en MW resultante de las unidades generadoras disponibles y que no se encuentran conectadas al sistema. Así, una unidad en reserva fría será una unidad desconectada del Sistema Eléctrico Nacional y que esta disponible.

4.4.3 Reserva rodante.

Se define como la capacidad disponible en las unidades sincronizadas del Sistema Eléctrico Nacional que se utiliza para responder ante una contingencia. Es la cantidad expresada en MW de la diferencia entre la capacidad rodante (es la potencia máxima que se puede obtener de las unidades generadoras sincronizadas al Sistema Eléctrico Nacional) y la demanda del Sistema Eléctrico Nacional en cada instante.

4.4.4 Reserva caliente.

Reserva de generación no sincronizada: contempla a las unidades que se encuentran fuera de línea, pero están disponibles para sincronizar. Así, una unidad en reserva caliente será una unidad desconectada del Sistema Eléctrico Nacional, disponible y que mantiene equipo en servicio con el objeto de reducir el tiempo empleado en sincronizar, o que por su característica es rápida en su sincronización.

4.5 Indicadores de la energía disponible.

Existen algunos conceptos relacionados con la energía disponible que deben ser abordados para su mejor comprensión ya que pueden ser considerados sus indicadores, estos son: capacidad, carga y su indicador gráfico y finalmente el cálculo de la disponibilidad de la capacidad de generación.

Se debe entonces comenzar con la capacidad de generación, ya que ésta se encuentra sujeta a cambios debido a salidas programadas de unidades generadoras por mantenimiento, fallas, degradaciones y causas ajenas. Estos cambios son indicadores de la energía disponible, por tanto, el concepto de capacidad se define a continuación.

4.5.1 Capacidad.

Es la medida de la aptitud para generar potencia eléctrica generalmente expresada en megawatts o kilowatts. El término capacidad puede referirse a la potencia suministrada por un solo generador, una central, un sistema local o un sistema interconectado.

Pero éste concepto es general, ya que existe otro más específico referido a la capacidad de generación alcanzado en el punto de interconexión denominado capacidad neta.

4.5.1.1 Capacidad Neta.

Corresponde a la potencia medida en las terminales del generador y por lo tanto incluye la potencia para los auxiliares y las pérdidas en los transformadores que se consideran parte integral de la central, lo cual significa la capacidad de generación de energía eléctrica de las instalaciones alcanzadas en el punto de interconexión.

4.5.2 La Carga y su indicador gráfico (curva de carga).

Debido a que la carga representa la capacidad de generación de energía eléctrica de las centrales en un momento determinado, representa un factor importante a considerar, por ello, se cuenta con un indicador gráfico de esta que se denomina curva de carga, la cual es la gráfica que muestra la variación de la magnitud de la carga a lo largo de un periodo determinado, es decir, es el valor que toma la demanda eléctrica en cada momento, esto corresponde con la demanda instantánea de energía eléctrica. En dicha gráfica las ordenadas representan potencia y las abscisas el tiempo, como se muestra en la gráfica 4.4.

Una vez que se ha definido el concepto de curva de carga es importante mencionar los factores que influyen de una forma muy notable sobre ella.

4.5.2.1 Factores que afectan a la curva de carga.

Una serie de investigaciones realizadas sobre la demanda eléctrica y sus determinantes en diferentes países, han permitido identificar un conjunto de variables básicas que explica la evolución de la demanda eléctrica a lo largo del tiempo, siendo este conjunto común para la mayor parte de los países. A continuación se explicaran detalladamente algunas de las variables que afectan la curva de carga:

4.5.2.1.1 Condiciones meteorológicas.

Las condiciones meteorológicas que se englobarán son variables como: la velocidad del viento, la nubosidad, la pluviosidad, la temperatura, etc. Sin embargo nos encontramos con que no todos los factores climáticos afectan a la demanda eléctrica. Algunos de ellos son típicamente aleatorios y otros aparecen interrelacionados. Por ejemplo, la temperatura viene explicada parcialmente por la nubosidad, la pluviometría, la humedad relativa, etc.

Entre todos estos factores la temperatura es el más relevante, dado que influye de forma directa sobre múltiples fuentes de consumo eléctrico como sistemas calefactores, aire acondicionado, refrigeradores, etc. Esta relación entre la demanda eléctrica y la temperatura es de carácter no lineal.

4.5.2.1.2 Calendario.

Existen diferentes efectos relacionados con el calendario que inciden sobre la curva de carga eléctrica:

Hora del Día: Esta variable resulta importante ya que la demanda eléctrica es diferente conforme transcurre el día; por ejemplo: la demanda a las 3:00 hrs. no será igual a la de las 13:00 hrs.

La demanda eléctrica se acumula en el período comprendido entre las 7:00 hrs. y las 18:00 hrs., algo lógico si tenemos en cuenta que dicho período corresponde con la jornada laboral estándar, sin embargo encontramos un incremento de la demanda de las 19:00 hrs. a las 22:00 hrs., esto si tomamos en cuenta que empieza a oscurecer aproximadamente a las 18:00 hrs. (en invierno) y gran parte de la población ha regresado a su hogar para descansar.



Como ejemplo se presenta en la tabla y la gráfica 4.1 la demanda por hora de un lunes del mes de enero del año 2008.

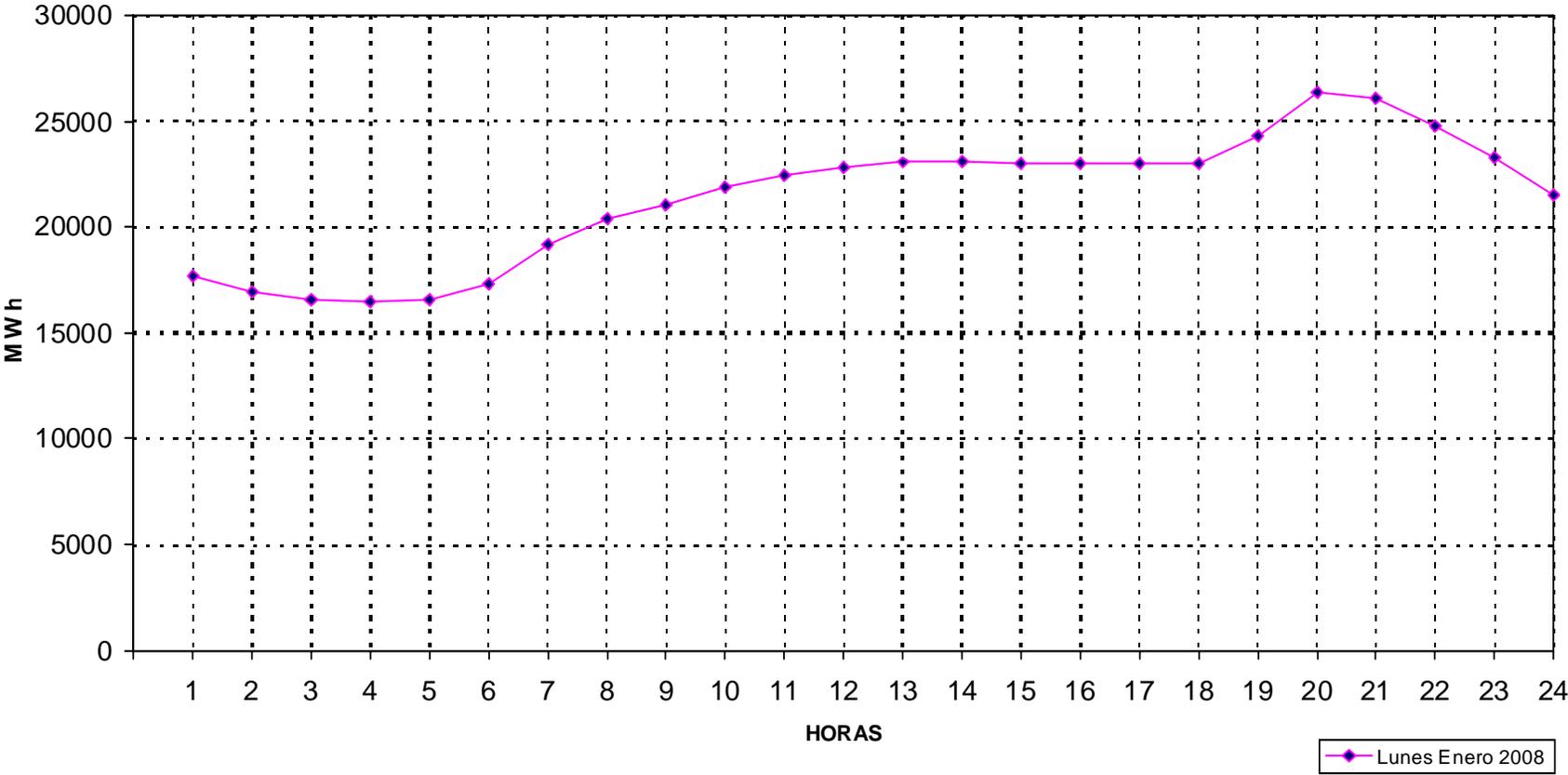
Tabla 4.1^{††}

| Hora | Lunes (MWh) |
|------|----------------|
| 1 | 17,712 |
| 2 | 16,941 |
| 3 | 16,587 |
| 4 | 16,452 |
| 5 | 16,617 |
| 6 | 17,364 |
| 7 | 19,179 |
| 8 | 20,391 |
| 9 | 21,084 |
| 10 | 21,870 |
| 11 | 22,443 |
| 12 | 22,866 |
| 13 | 23,061 |
| 14 | 23,082 |
| 15 | 22,989 |
| 16 | 22,974 |
| 17 | 23,013 |
| 18 | 23,028 |
| 19 | 24,315 |
| 20 | 26,403 |
| 21 | 26,085 |
| 22 | 24,801 |
| 23 | 23,328 |
| 24 | 21,540 |

^{††} Información obtenida de la página en línea de SENER www.sener.gob.mx



DEMANDA POR HORA



Gráfica 4.1

Día de la semana: Dado que la demanda de energía eléctrica por hora es diferente podemos intuir que la demanda de electricidad realizada a la misma hora de días diferentes será también diferente. Así la demanda llevada a cabo un miércoles a las 11:00 hrs. probablemente no coincida con la realizada un domingo a esa misma hora, al igual en días festivos el consumo diverge con los días laborales

Todos los días laborables poseen un perfil de demanda muy similar, con excepción del lunes en cuya madrugada y hasta medio día el consumo de energía es significativamente inferior. Con respecto a los fines de semana se observa que se repite el mismo patrón horario de consumo detectado en los días laborables pero en general el consumo medio de lunes a viernes es sensiblemente mayor al de los fines de semana.

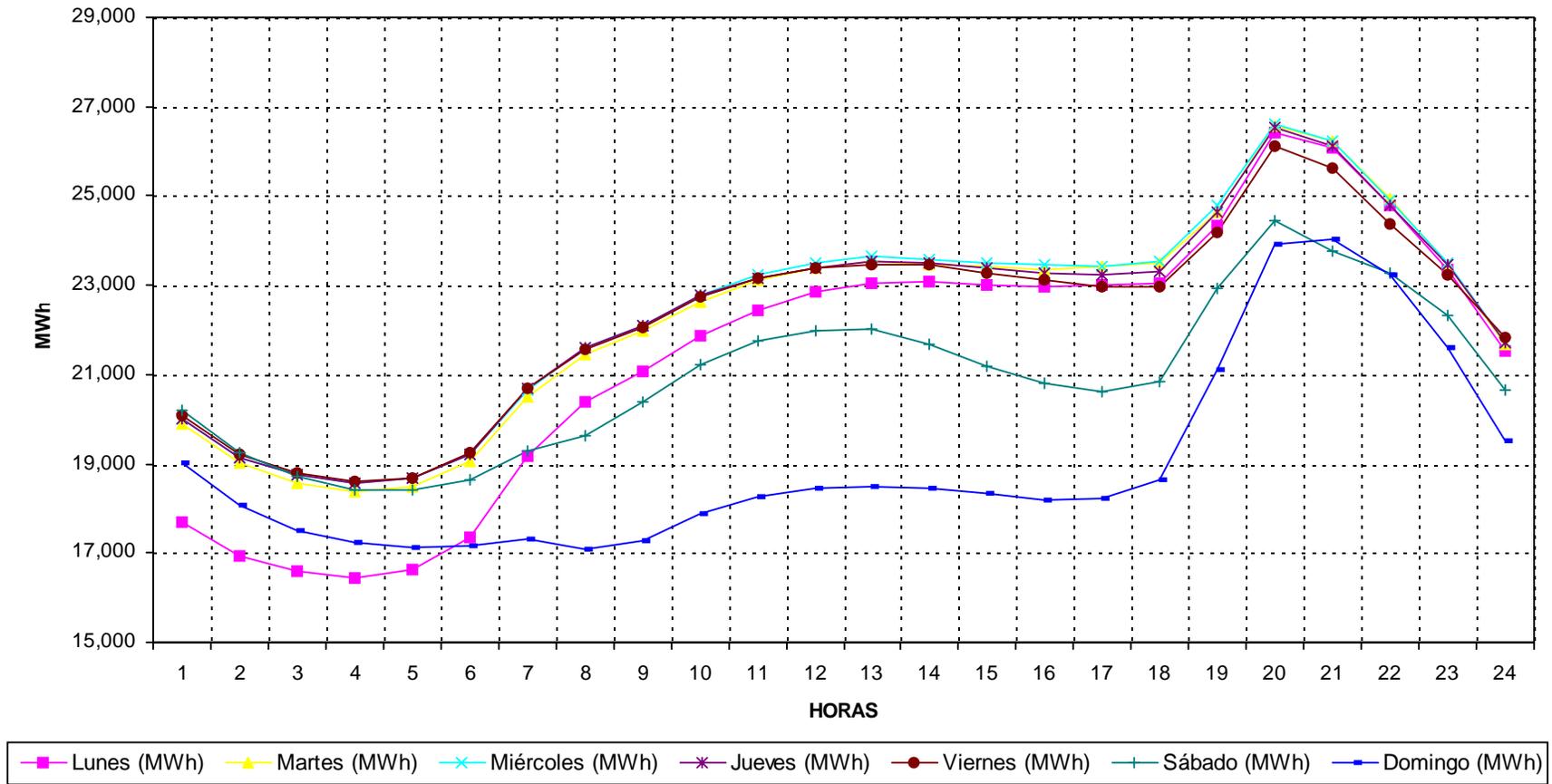
Como ejemplo se presenta en la tabla y la gráfica 4.2 la demanda por día de una semana del mes de enero del año 2008.

Tabla 4.2^{††}

| Hora | Lunes (MWh) | Martes (MWh) | Miércoles (MWh) | Jueves (MWh) | Viernes (MWh) | Sábado (MWh) | Domingo (MWh) |
|------|-------------|--------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 1 | 17,712 | 19,887 | 20,004 | 20,013 | 20,085 | 20,211 | 19,023 |
| 2 | 16,941 | 19,029 | 19,140 | 19,149 | 19,227 | 19,266 | 18,066 |
| 3 | 16,587 | 18,576 | 18,741 | 18,771 | 18,786 | 18,705 | 17,499 |
| 4 | 16,452 | 18,387 | 18,576 | 18,558 | 18,600 | 18,432 | 17,220 |
| 5 | 16,617 | 18,495 | 18,675 | 18,663 | 18,678 | 18,429 | 17,121 |
| 6 | 17,364 | 19,071 | 19,221 | 19,203 | 19,236 | 18,636 | 17,157 |
| 7 | 19,179 | 20,511 | 20,652 | 20,685 | 20,688 | 19,302 | 17,301 |
| 8 | 20,391 | 21,432 | 21,603 | 21,585 | 21,573 | 19,617 | 17,103 |
| 9 | 21,084 | 21,981 | 22,107 | 22,083 | 22,065 | 20,391 | 17,289 |
| 10 | 21,870 | 22,641 | 22,770 | 22,779 | 22,746 | 21,240 | 17,874 |
| 11 | 22,443 | 23,118 | 23,238 | 23,172 | 23,154 | 21,735 | 18,246 |
| 12 | 22,866 | 23,388 | 23,514 | 23,400 | 23,385 | 21,978 | 18,438 |
| 13 | 23,061 | 23,550 | 23,634 | 23,529 | 23,442 | 22,011 | 18,507 |
| 14 | 23,082 | 23,478 | 23,589 | 23,493 | 23,448 | 21,690 | 18,468 |
| 15 | 22,989 | 23,418 | 23,496 | 23,391 | 23,283 | 21,198 | 18,321 |
| 16 | 22,974 | 23,337 | 23,469 | 23,274 | 23,112 | 20,787 | 18,174 |
| 17 | 23,013 | 23,433 | 23,409 | 23,223 | 22,959 | 20,610 | 18,216 |
| 18 | 23,028 | 23,511 | 23,538 | 23,319 | 22,953 | 20,841 | 18,633 |
| 19 | 24,315 | 24,627 | 24,795 | 24,633 | 24,171 | 22,947 | 21,096 |
| 20 | 26,403 | 26,586 | 26,613 | 26,520 | 26,103 | 24,453 | 23,922 |
| 21 | 26,085 | 26,235 | 26,238 | 26,112 | 25,605 | 23,763 | 24,018 |
| 22 | 24,801 | 24,924 | 24,894 | 24,807 | 24,381 | 23,256 | 23,232 |
| 23 | 23,328 | 23,472 | 23,481 | 23,469 | 23,235 | 22,335 | 21,618 |
| 24 | 21,540 | 21,681 | 21,726 | 21,729 | 21,831 | 20,655 | 19,506 |

^{††} Información obtenida de la página en línea de SENER www.sener.gob.mx

DEMANDA POR DIA



Gráfica 4.2

Mes del año: En función del mes en el que nos encontremos la demanda diaria media de energía varía significativamente. Esto se debe principalmente al efecto de las estaciones. Pensemos que en los meses de invierno, al margen de los efectos climáticos ya considerados (básicamente temperatura), se dispone de un menor número de horas solares, la gente tiende a pasar más tiempo en casa, etc. En lo referente al verano el consumo de energía también puede experimentar un considerable aumento como resultado del uso de sistemas de aire acondicionado.

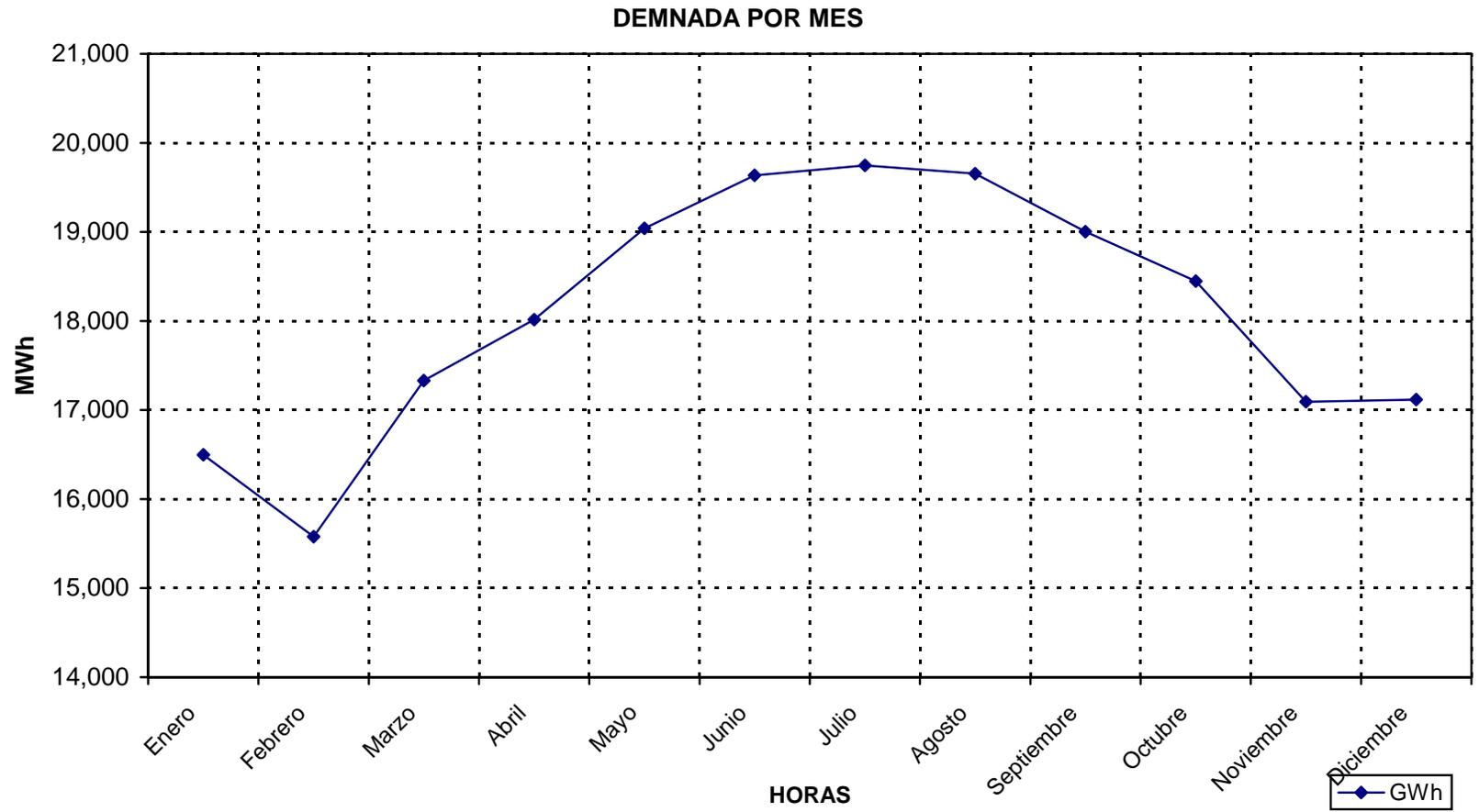
Podemos comprobar como efectivamente la curva de carga anual alcanza sus valores máximos en los meses de verano.

Como ejemplo se presenta en la tabla y la gráfica 4.3 la demanda por mes del año 2008.

Tabla 4.3^{§§}

| MES | GWh |
|------------|--------|
| Enero | 16,498 |
| Febrero | 15,578 |
| Marzo | 17,329 |
| Abril | 18,015 |
| Mayo | 19,041 |
| Junio | 19,636 |
| Julio | 19,747 |
| Agosto | 19,654 |
| Septiembre | 19,002 |
| Octubre | 18,448 |
| Noviembre | 17,094 |
| Diciembre | 17,117 |

^{§§} Información obtenida de la página en línea de SENER www.sener.gob.mx



Gráfica 4.3

4.5.2.1.3 Factores no predecibles.

Debemos de considerar la existencia de una serie de factores que, siendo puramente aleatorios, pueden afectar sensiblemente a la demanda de energía eléctrica. Entre dichos factores destacamos, entre otros: Paros y huelgas generales, eventos deportivos, cierre de instalaciones industriales intensivas en electricidad, etc.

4.5.2.2 Parámetros de la carga.

A partir de la curva de carga se pueden definir algunos conceptos relacionados con la carga que puede suministrar una central eléctrica y la demanda de energía de los consumidores.

Estos conceptos son:

4.5.2.2.1 Factor de carga.

Para tener una medida que indique la naturaleza de la carga instalada se introduce el denominado factor de carga, definido como la relación de potencia promedio a la potencia máxima de punta, como se muestra en la ecuación 4.1

$$FC = \frac{\text{Potencia promedio [W]}}{\text{Potencia máxima [W]}} \dots (4.1)$$

Para una central eléctrica resulta desfavorable que el factor de carga sea pequeño puesto que ello indica que, a pesar de tener que construirse la central eléctrica para una potencia máxima ($P_{\text{máx}}$), no suministra mas que un pequeño porcentaje de este valor de forma que la central eléctrica desaprovecha durante casi todo el día sus posibilidades, ya que la potencia de punta solamente se precisa durante breves periodos de tiempo, como muestran los gráficos de carga. En la práctica pueden tomarse los siguientes valores:

| | |
|---------------------------------------|-----------------|
| Para pequeñas instalaciones y pueblos | FC = 0.15 a 0.2 |
| Para pequeñas ciudades | FC = 0.2 a 0.3 |
| Para centrales agrícolas | FC = 0.3 a 0.35 |
| Para grandes ciudades | FC = 0.3 a 0.4 |
| Para una provincia | FC = 0.4 a 0.45 |
| Para una región (varias provincias) | FC = 0.45 a 0.5 |

4.5.2.2.2 Horas equivalentes de operación.

Se define como el número de horas (h_o) que debería funcionar de forma permanente la central a lo largo de un periodo de tiempo como se muestra en la gráfica 4.4, esto es, incluyendo horas de generación y horas en las cuales la generación disminuye o llega a ser nula.

4.5.2.2.3 Horas equivalentes disponibles.

Se define como el número de horas (h_d) que se encuentra en función la central sin tener eventos que causen indisponibilidad, como se muestra en la gráfica 4.4.

4.5.2.2.4 Factor de planta o factor de utilización.

Es la relación entre la energía eléctrica producida por un generador o conjunto de generadores, durante un intervalo de tiempo determinado y la energía que habría sido producida si este generador o conjunto de generados hubiese funcionado durante ese intervalo de tiempo, a su potencia máxima posible en servicio, es decir, es la relación entre el número de horas de utilización anual (h_{da}), mensual (h_{dm}), semanal (h_{ds}) o diario (h_{dd}) y el número total de horas del periodo de tiempo respectivo.

FU_a = Número de horas equivalentes disponibles de operación anual / Número de horas del año. Como se muestra en la ecuación 4.2

$$FU_a = \frac{h_{da}}{h_a} \dots\dots(4.2)$$

FU_m = Número de horas equivalentes disponibles de operación mensual / Número de horas del mes. Como se muestra en la ecuación 4.3

$$FU_m = \frac{h_{dm}}{h_m} \dots\dots(4.3)$$

FU_s = Número de horas equivalentes disponibles de operación semanal / Número de horas de la semana. Como se muestra en la ecuación 4.4

$$FU_s = \frac{h_{ds}}{h_s} \dots\dots(4.4)$$

FU_d = Número de horas equivalentes disponibles de operación del día / Número de horas del día. Como se muestra en la ecuación 4.5

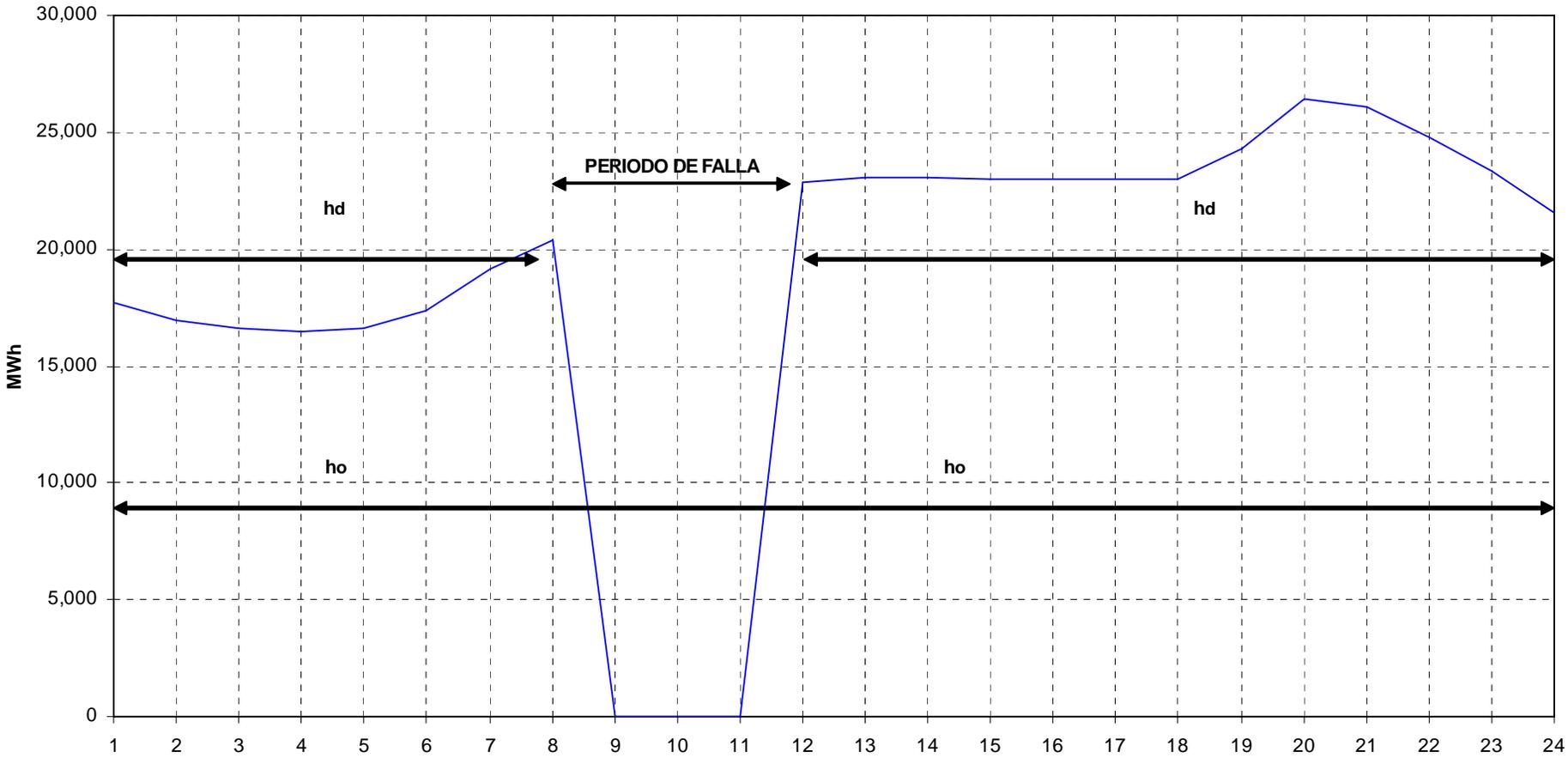
$$FU_d = \frac{h_{dd}}{h_d} \dots\dots(4.5)$$

En la práctica para la determinación de la energía suministrada por una centra; eléctrica durante un año, podemos adoptar estos valores para el factor de utilización:

| | |
|----------------------------------|-----------------|
| Suministros a pequeñas ciudades | C = 0.15 a 0.25 |
| Suministros a grandes ciudades | C = 0.25 a 0.4 |
| Suministros a grandes (regiones) | C = 0.4 a 0.5 |



CURVA DE CARGA



HORAS
Gráfica 4.4

4.5.3 Metodología para la obtención de la energía disponible.

Una vez que se han explicado los conceptos relacionados con los indicadores de la energía disponible, se debe abordar el proceso de la obtención de la misma, considerando como primer plano que la energía disponible es aquella energía que la central puede llegar a producir con eventos o sin eventos causantes de indisponibilidad. De tal forma, para la obtención de la energía disponible es necesario tener en cuenta que existen diferentes casos en los que las centrales pueden llegar a incurrir, por lo que existirán diferentes procesos para la obtención de la energía disponible.

En la siguiente tabla se desglosan los diferentes procesos para la obtención de la energía disponible para cada uno de los casos.

| MODELO PARA LA OBTENCIÓN DE LA ENERGÍA DISPONIBLE SEGÚN LICENCIAS QUE GENERA EL AREA DE CONTROL | | | | |
|--|------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|
| TIEMPO | ENERGÍA DEL MEDIDOR | POTENCIA MAX | EVENTO | E DISPONIBLE |
| T1 | E1 | Pmax | SIN EVENTO | Pmax |
| T2 | E2 | Pmax | LIC1 | E2 |
| T3 | E3 | Pmax | LIC1 + CDD1 | CDD1 |
| T4 | E4 | Pmax | LIC1 + CDD2 | CDD2 |
| T5 | E5 | Pmax | LIC2 | E5 |

Donde:

| | |
|-------------------|--|
| SIN EVENTO | PERIODO DE TIEMPO EN CUAL LA CENTRAL NO PRESENTA INDISPONIBILIDAD |
| LIC. | LICENCIA (<i>PERIODO DE TIEMPO EN EL CUAL LA CENTRAL PRESENTA INDISPONIBILIDAD</i>) |
| CDD | CAPACIDAD DECLARADA DISPONIBLE (<i>CAPACIDAD QUE DECLARA LA CENTRAL COMO DISPONIBLE A GENERAR</i>) |
| LIC + CDD | CAPACIDAD DECLARADA DISPONIBLE DENTRO DE UN PERIODO DE LICENCIA |

NOTA: PARA EL CÁLCULO DE LA ENERGÍA DISPONIBLE SOLO SE CONSIDERAN LAS CDD's SI Y SOLO SI SE ENCUENTRAN COMPRENDIDAS EN UN PERIODO DE LICENCIA.

4.5.4 Cálculo de la disponibilidad de la capacidad de generación.

Ahora que ya se han definido algunos conceptos que se involucran en la disponibilidad de la capacidad de generación, se puede proceder a la explicación de su cálculo.

Así, el cálculo de la disponibilidad de la capacidad de generación es un indicador de la disponibilidad relativa de una unidad generadora en un periodo determinado, calculado como la sumatoria de la energía disponible (diferencia entre la energía máxima que la central puede producir y la energía que no llegó a producirse debido a las actividades de mantenimiento, fallas, decrementos de capacidad u otras causas) entre la potencia máxima, lo anterior para cada periodo de tiempo y finalmente dividido entre el número de lapsos instantáneos que cubran dicho periodo de tiempo. Como se muestra en la ecuación 4.6

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Ed}{P_{\max}} \dots(4.6)$$

Donde:

D = Disponibilidad de la central.

Ed = Energía instantánea máxima disponible que la central puede producir sin tomar en cuenta la energía despachada por el centro de control.

P_{max_i} = Potencia máxima que la central puede producir.

n = Numero de periodos instantáneos.

A manera de ejemplo se considerara una Central ideal con una carga constante en el tiempo, con 440 MW de capacidad neta. Se calculará de ésta la disponibilidad de la capacidad de generación tomando como periodo de tiempo un mes con 30 días, del cual se sabe que éste cuenta con 720 horas que serán las horas equivalentes de operación (h_o).

Como primer paso se calculará la energía disponible entre la potencia máxima.

P_{max} = 440MW

n = h_o = 720 horas

Potencia máxima que la central puede producir.

Número de periodos instantáneos, horas equivalente de operación.

Para la energía instantánea que la central no llego a producir por fallas, mantenimiento, decremento de capacidades u otras causas (Edh) se cuenta con la tabla 4.4, donde la Edh (energía disponible horaria) está expresada en MWh y se consideran 711 horas equivalentes disponibles h_d.

Tabla 4.4

| Hora | Pmax [MW] | Ed [MWh] | $\frac{Edh}{P_{max}}$ |
|-----------|--------------|-------------|-----------------------|
| 1 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 2 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 3 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 4 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 5 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 6 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 7 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 8 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 9 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 10 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 11 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 12 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 13 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 14 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 15 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 16 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 17 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 18 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 19 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 20 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 21 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 22...356 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 357 | 440 | 420 | 0.95454545 |
| 358 | 440 | 400 | 0.90909091 |
| 359 | 440 | 390 | 0.88636364 |
| 360 | 440 | 220 | 0.50000000 |
| 361 | 440 | 190 | 0.43181818 |
| 362 | 440 | 140 | 0.31818182 |
| 363 | 440 | 90 | 0.20454545 |
| 364 | 440 | 360 | 0.81818182 |
| 365...719 | 440 | 440 | 1.00000000 |
| 720 | 440 | 0 | 0.00000000 |

Una vez teniendo la disponibilidad instantánea de cada hora equivalente de operación se puede calcular la disponibilidad de la capacidad de generación con la siguiente fórmula 4.6 y con la ayuda de la tabla 4.5.

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Edh}{P_{\max}} \dots\dots(4.6)$$

Tabla 4.5

| Hora | Edh / Pmax |
|---------------------------------------|---------------------|
| 1 | 1.00000000 |
| 2 | 1.00000000 |
| 3 | 1.00000000 |
| 4 | 1.00000000 |
| 5 | 1.00000000 |
| 6 | 1.00000000 |
| 7 | 1.00000000 |
| 8 | 1.00000000 |
| 9 | 1.00000000 |
| 10 | 1.00000000 |
| 11 | 1.00000000 |
| 12 | 1.00000000 |
| 13 | 1.00000000 |
| 14 | 1.00000000 |
| 15 | 1.00000000 |
| 16 | 1.00000000 |
| 17 | 1.00000000 |
| 18 | 1.00000000 |
| 19 | 1.00000000 |
| 20 | 1.00000000 |
| 21 | 1.00000000 |
| 22...356 | 1.00000000 |
| 357 | 0.95454545 |
| 358 | 0.90909091 |
| 359 | 0.88636364 |
| 360 | 0.50000000 |
| 361 | 0.43181818 |
| 362 | 0.31818182 |
| 363 | 0.20454545 |
| 364 | 0.81818182 |
| 365...719 | 1.00000000 |
| 720 | 0 |
| $\sum_{i=1}^n \frac{Edh}{P_{\max}} =$ | 715.02272727 |

$$D = \frac{715.02272727}{720} = 0.99308712$$

$$D = 0.99308712$$

Por lo tanto la disponibilidad de la capacidad de generación de una central con 440 MW de capacidad neta demostrada de un mes es de:

$$\underline{D = 0.99308712}$$

Su curva de carga se puede observar en la gráfica 4.5.

Pero no solo se puede obtener la disponibilidad de la capacidad de generación del ejemplo anterior también puede obtenerse su factor de carga y su factor de planta o factor de utilización.

Para obtener el factor de carga se sabe que:

$$FC = \frac{\text{Potencia promedio [W]}}{\text{Potencia máxima [W]}} \dots (4.1)$$

Si se toma en consideración que la:

Potencia promedio de la central es de 414.75 MW

Potencia máxima de la central es de 440 MW

$$FC = \frac{414.75 [MW]}{440 [MW]}$$

Por lo tanto el factor de carga de esta central es de:

$$\underline{FC = 0.94261364}$$

En cuanto al Factor de Planta o factor de utilización (FU_m), para este caso se sabe que:

FU_m = Número de horas equivalentes disponibles de operación mensual / Número de horas del mes.

Número de horas equivalentes disponibles de operación mensuales (h_{dm}) = 711

Número de horas del mes (h_m) = 720

$$FU_m = \frac{h_{dm}}{h_m} \dots (4.3) \qquad FU_m = \frac{711}{720}$$

Por lo tanto el factor de planta o factor de utilización de esta central es de:

$$\underline{FU_m = 0.9875}$$



Gráfica 4.5



Capítulo 5

Características y cálculos de la disponibilidad de la capacidad de generación de dos centrales de ciclo combinado de los PIE's que se tomaron como muestra.

5. Características y cálculos de la disponibilidad de la capacidad de generación de dos centrales de CC de los PIE's que se tomaron como muestra.

Objetivo: Calcular la disponibilidad de la capacidad de generación de centrales de energía eléctrica de diferentes Áreas de Control.

5.1 Características de las diferentes centrales de ciclo combinado de PIE elegidas.

La construcción de una central consiste en el desarrollo de las instalaciones que incluyen la central, el sistema de transmisión y el sistema de suministro de combustible, capaces de proporcionar la capacidad neta en el punto de interconexión, de acuerdo con los términos y condiciones establecidas en el contrato.

Por ello se eligieron de entre todas las centrales de ciclo combinado de Productores Independientes de energía dos centrales con diferente ubicación geográfica y de diferentes áreas de control, consorcio y suministro de combustible cuyas características son mostradas a continuación:

5.1.1. Ubicación.

Para obtener una gama más amplia en los resultados esperados sobre la disponibilidad de las centrales en cuanto a la ubicación, se han considerado las diferentes áreas de control en las que se encuentra dividido el país, por ello se han elegido dos centrales de diferente área de control. En la tabla 5.1 se muestra la ubicación de las centrales por área de control, acompañados con la figura 5.1.

| CENTRAL | AREA DE CONTROL | CAPACIDAD (MW) |
|--------------------------|-----------------|----------------|
| CENTRAL 1 ^{***} | Noroeste | 250 |
| CENTRAL 2 ^{***} | Oriental | 983 |

Tabla 5.1

^{***} Por motivos de confidencialidad, se han omitido los nombres de las centrales de los PIE's por lo tanto en adelante nos referiremos con estos nombres.

UBICACIÓN DE CENTRALES

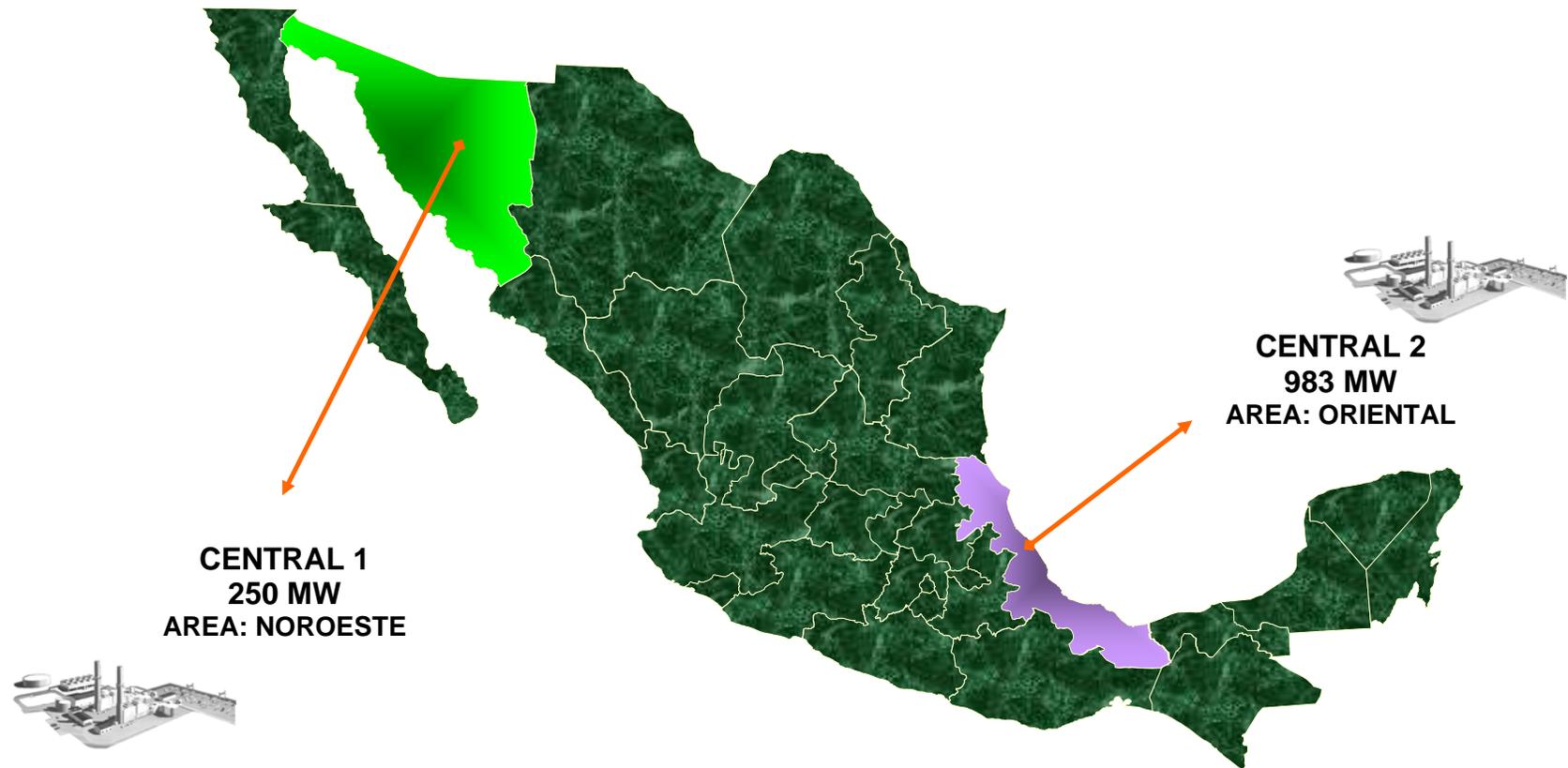


FIGURA 5.1



5.1.2 Periodo de tiempo.

Para poder calcular la disponibilidad de la capacidad de generación de dos centrales de energía eléctrica de productores independientes de energía es primordial elegir un periodo de tiempo en el que la central será analizada, así que, en este caso, se tomará un mes determinado. Para tener un mayor contraste sobre los resultados del cálculo de la disponibilidad de cada una de las centrales y debido a que la temperatura puede ser un factor que afecte la disponibilidad de generación de la central debemos elegir meses en los cuales las temperaturas sean extremas para el funcionamiento de las centrales eléctricas, por ello nos hemos basado en la tabla 5.2 y la gráfica 5.1 que muestra los promedios de temperatura mensual de las entidades en donde hemos localizado las centrales en estudio.

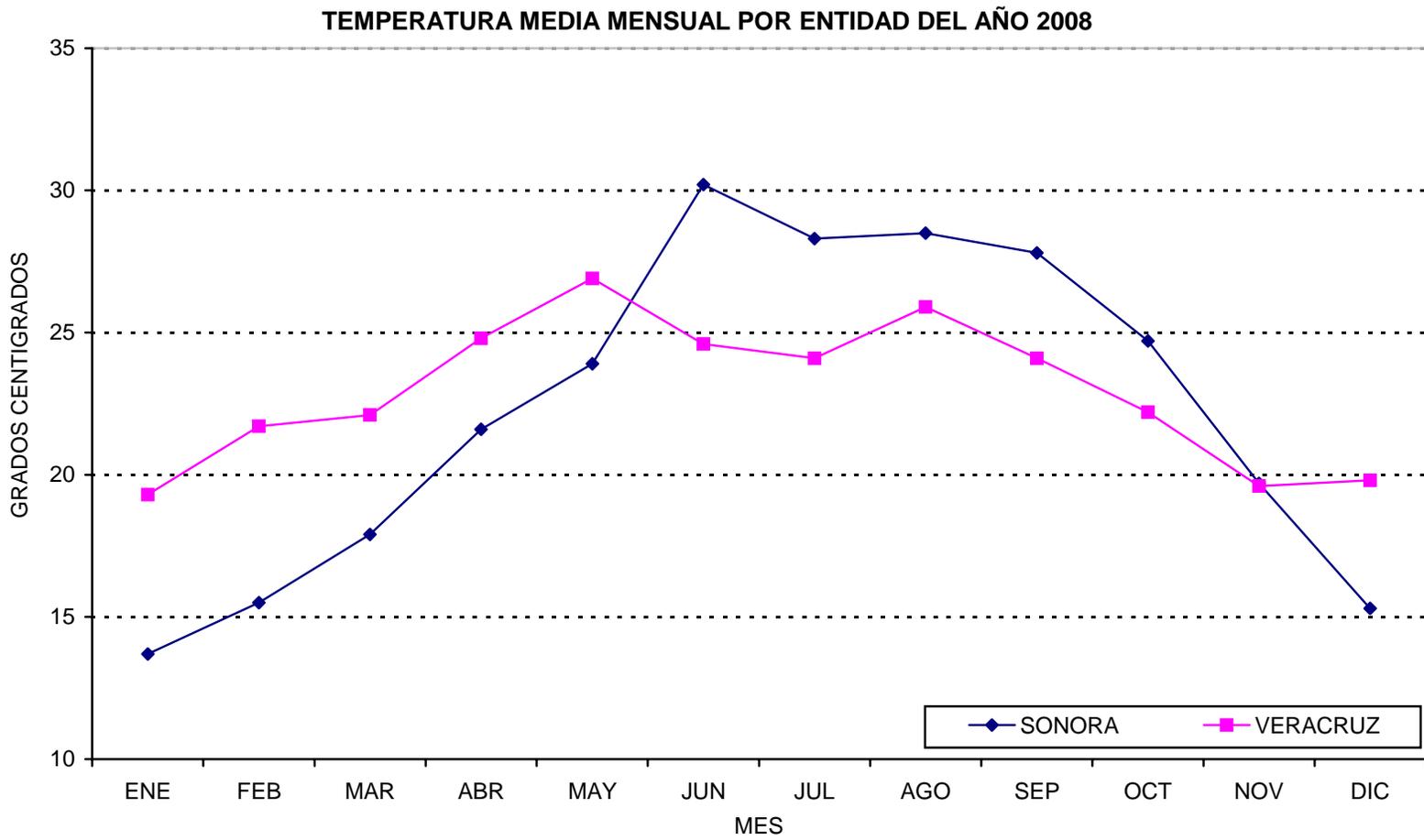
Por lo tanto los meses seleccionados han sido enero, mayo y junio de los cuales podemos observar según lo muestra la tabla 5.2 y la gráfica 5.1 que las temperaturas mínimas y máximas se presentan en estos meses.

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL POR ENTIDAD DEL AÑO 2008

| ESTADO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|----------|-------------|------|------|------|-------------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| Sonora | 13.7 | 15.5 | 17.9 | 21.6 | 23.9 | 30.2 | 28.3 | 28.5 | 27.8 | 24.7 | 19.7 | 15.3 |
| Veracruz | 19.3 | 21.7 | 22.1 | 24.8 | 26.9 | 24.6 | 24.1 | 25.9 | 24.1 | 22.2 | 19.6 | 19.8 |

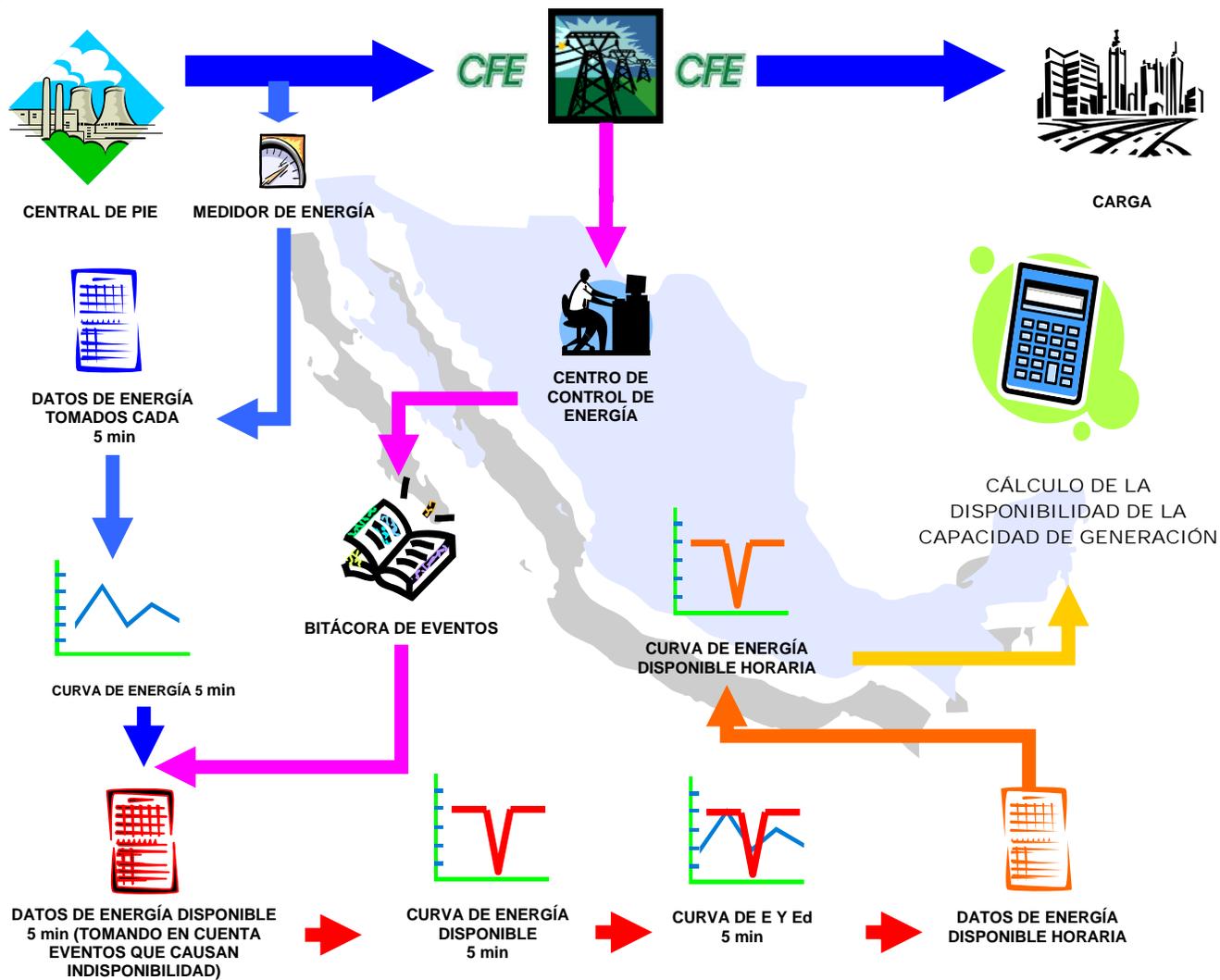
Tabla 5.2^{§§§}

^{§§§} Datos obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN)



Gráfica 5.1

5.2 Metodología para la obtención de datos de energía para el cálculo de la disponibilidad de la capacidad de generación

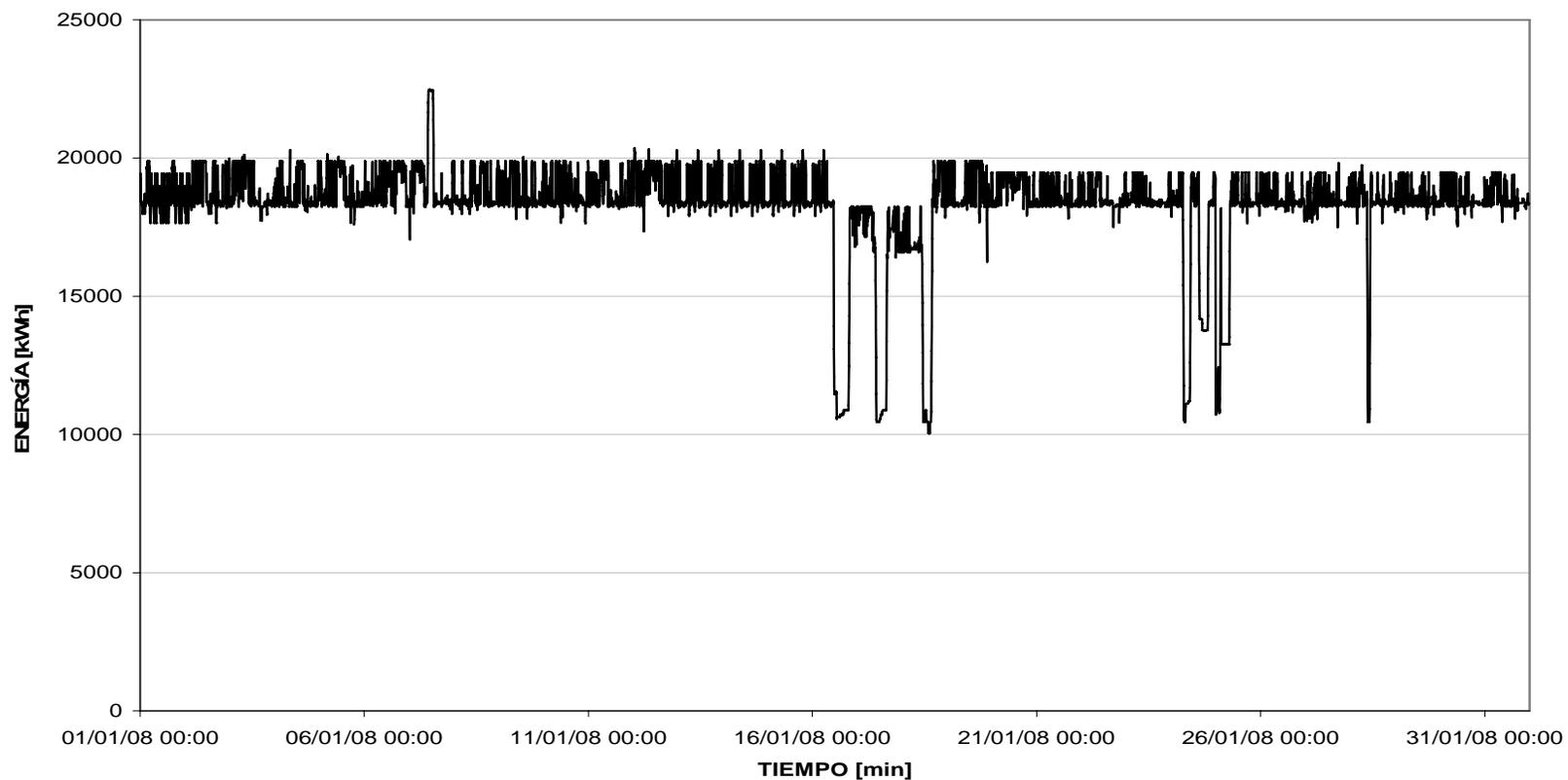


5.2.3 CENTRAL 1

5.2.3.1.1 Curva de energía del mes de enero 2008.†††

5.2.3.1.2 Bitácora de eventos de la Central 1 del mes de enero 2008.

**CURVA DE ENERGÍA 5 MINUTAL
CENTRAL 1
PERIODO DE TIEMPO: ENERO 2008**



††† Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE´s, se han omitido los datos que generan la gráfica mostrada.

CENTRO DE CONTROL NOROESTE
BITÁCORA DE EVENTOS DE LA CENTRAL: CENTRAL 1

| FECHA | Enero-08 | | LICENCIA | NODO | CAPACIDAD DECLARADA DISPONIBLE | CAUSA | OBSERVACIONES |
|----------------|----------------|--------------------|----------|-----------|--------------------------------|------------|--|
| HORA INICIO | HORA FIN | CLAVE DE OPERACIÓN | No. | | | | |
| 25/01/08 02:13 | 25/01/08 14:13 | L/TL | 525 | CENTRAL 1 | | EMERGENCIA | INDISPONIBLE A CARGA MÁXIMA POR DISPARO POR FALLA EN INSTRUMENTO DE FLUJO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN. |
| 28/01/08 09:00 | 28/01/08 16:45 | L/TL | 518 | CENTRAL 1 | | EMERGENCIA | INDISPONIBLE A CARGA MÁXIMA POR NO REUNIR CONDICIONES DE VAPOR |

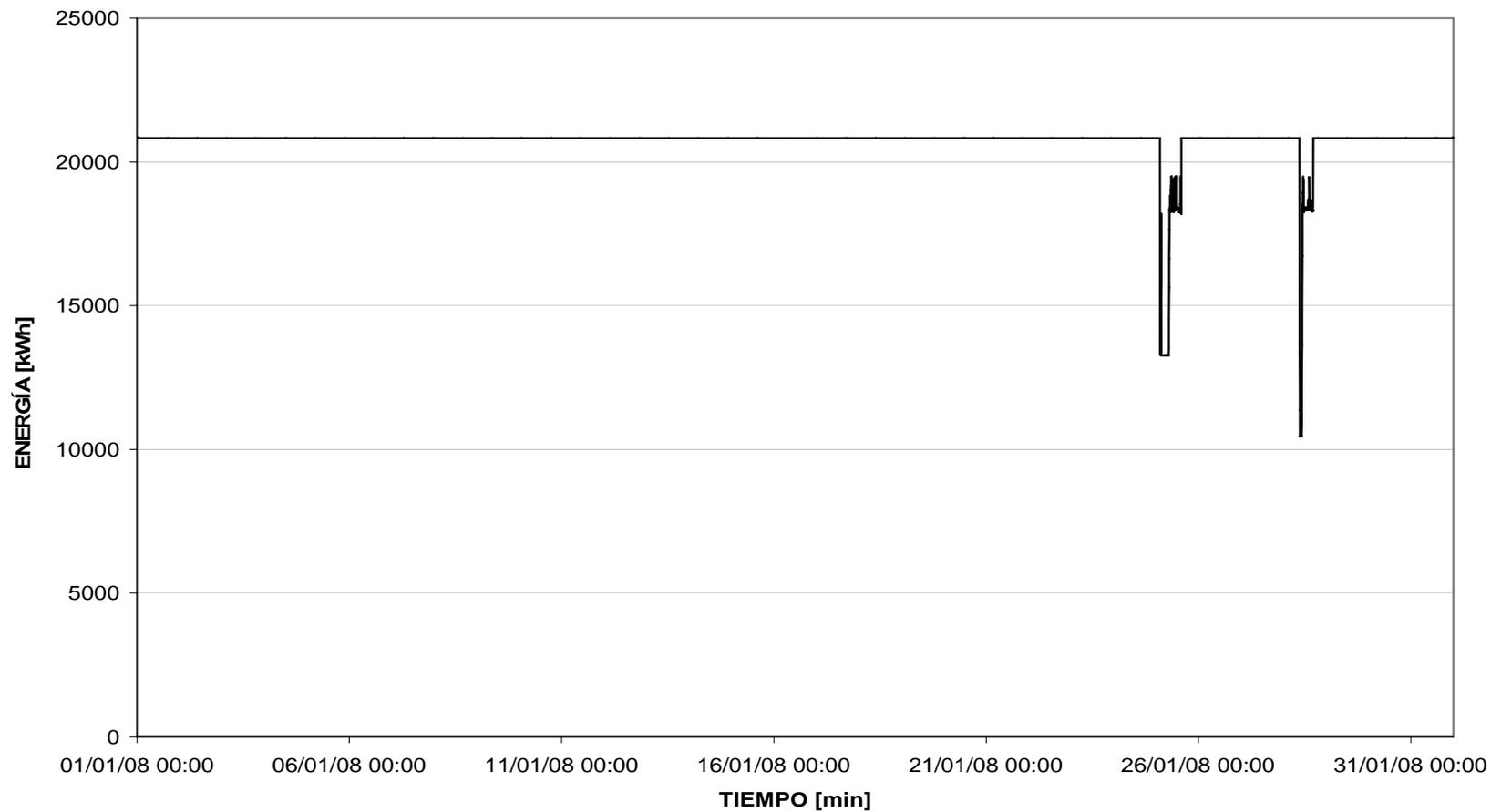
5.2.3.1.3 Tabla para análisis de los eventos que causaron indisponibilidad y curva de energía disponible 5 minutal del mes de Enero 2008.

Tabla para análisis de los eventos que causaron indisponibilidad durante el mes de enero del 2008^{§§§}

| PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA 525 | | PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA 518 | | PERIODO DE TIEMPO |
|-------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------|
| | ENERGÍA [kWh] | Ed 5min [kWh] | | ENERGÍA [kWh] | Ed 5min [kWh] | |
| | | | | | | |

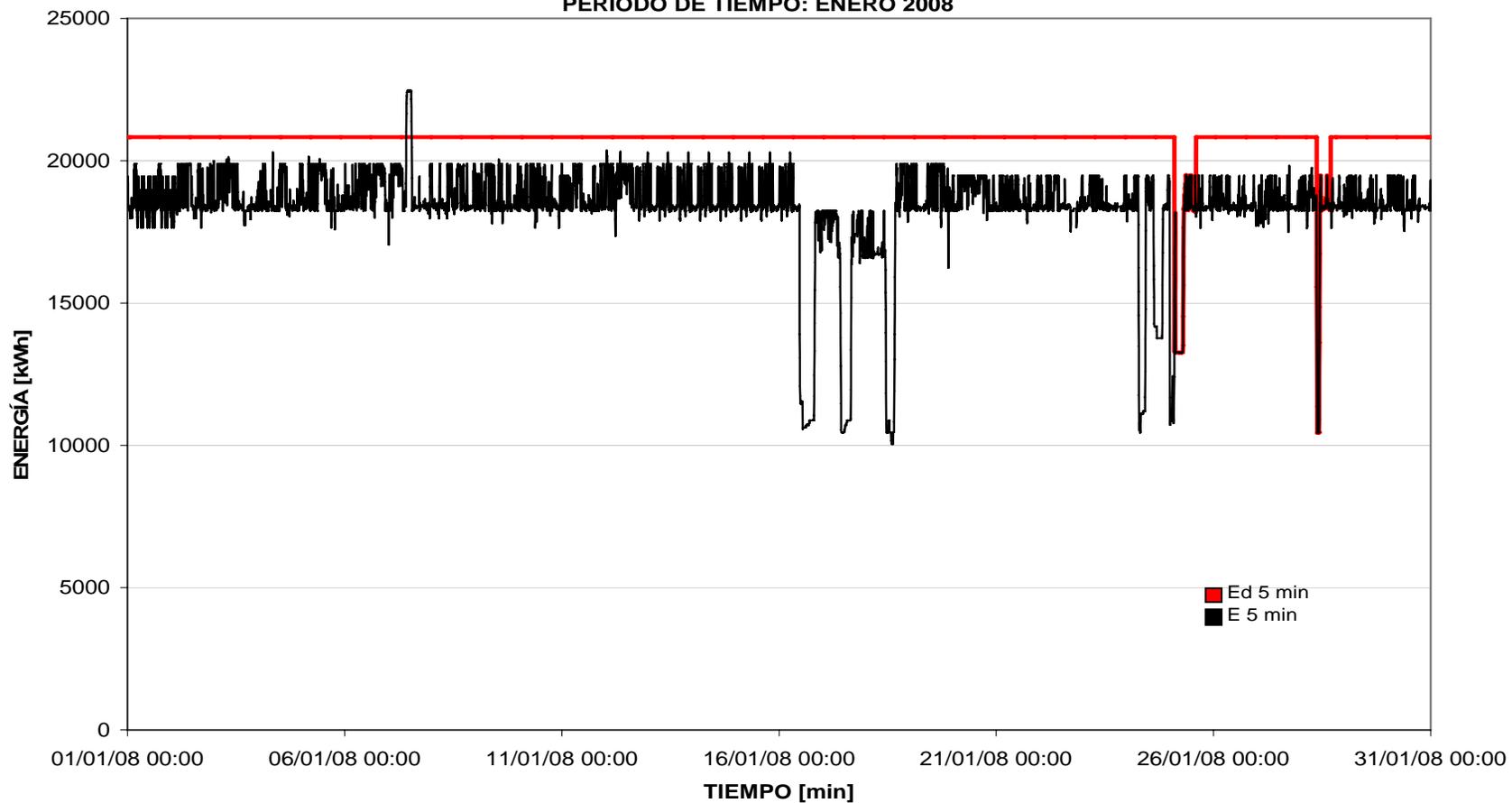
^{§§§} Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que integran la tabla mostrada.

**CURVA DE ENERGÍA DISPONIBLE 5 MINUTAL
CENTRAL 1
PERIODO DE TIEMPO: ENERO 2008**



**** Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que generan la gráfica mostrada.

**CURVA DE E 5min Y Ed 5min
CENTRAL 1
PERIODO DE TIEMPO: ENERO 2008**



††††

†††† Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que generan la gráfica mostrada.

5.2.3.1.4 Energía disponible horaria y curva de energía disponible horaria del mes de enero 2008.

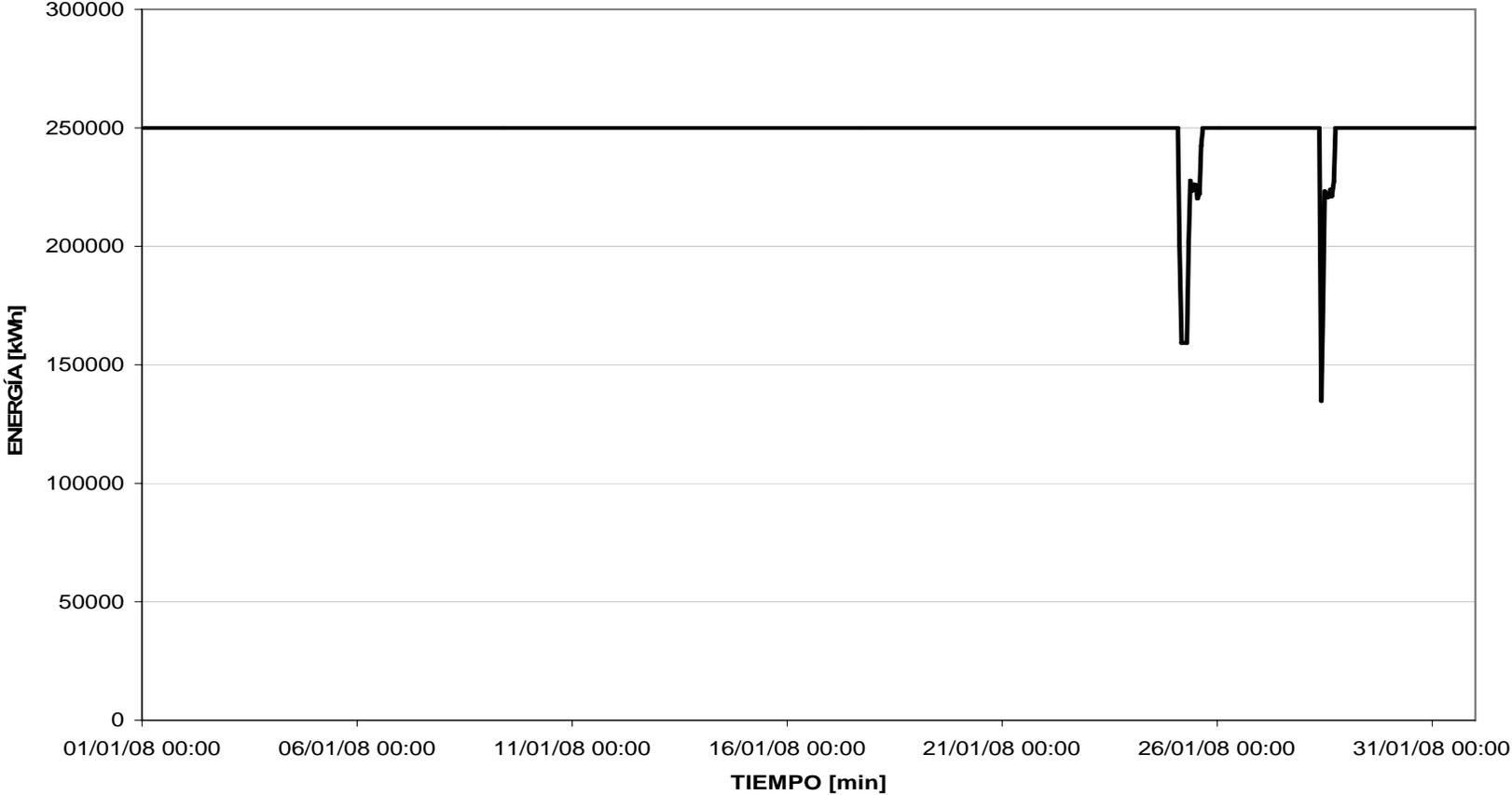
Cálculo de energía disponible horaria

| HORA | TIEMPO | Ed 5min [kWh] | | Σ Ed 5min | Edh _n | Edh [kWh] |
|------|----------------|-----------------------|------------|---|--------------------|-----------|
| 1 | 01/01/08 00:05 | Ed 5min ₁ | 20833.3333 | $Edh_1 = \Sigma (Ed5min_1 \dots Ed5min_{12})$ | Edh ₁ | 250000 |
| 1 | 01/01/08 00:10 | Ed 5min ₂ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:15 | Ed 5min ₃ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:20 | Ed 5min ₄ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:25 | Ed 5min ₅ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:30 | Ed 5min ₆ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:35 | Ed 5min ₇ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:40 | Ed 5min ₈ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:45 | Ed 5min ₉ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:50 | Ed 5min ₁₀ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:55 | Ed 5min ₁₁ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/01/08 01:00 | Ed 5min ₁₂ | 20833.3333 | | | |
| . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . |
| 744 | 31/01/08 23:05 | Ed 5min ₁ | 20833.3333 | $Edh_{744} = \Sigma (Ed5min_1 \dots Ed5min_{12})$ | Edh ₇₄₄ | 250000 |
| 744 | 31/01/08 23:10 | Ed 5min ₂ | 20833.3333 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:15 | Ed 5min ₃ | 20833.3333 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:20 | Ed 5min ₄ | 20833.3333 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:25 | Ed 5min ₅ | 20833.3333 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:30 | Ed 5min ₆ | 20833.3333 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:35 | Ed 5min ₇ | 20833.3333 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:40 | Ed 5min ₈ | 20833.3333 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:45 | Ed 5min ₉ | 20833.3333 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:50 | Ed 5min ₁₀ | 20833.3333 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:55 | Ed 5min ₁₁ | 20833.3333 | | | |
| 744 | 01/02/08 00:00 | Ed 5min ₁₂ | 20833.3333 | | | |



Datos de energía disponible horaria del mes de enero 2008^{***}

**CURVA DE ENERGÍA DISPONIBLE HORARIA
CENTRAL 1
PERIODO DE TIEMPO: ENERO 2008**



^{***} Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que generan la gráfica mostrada.

5.2.3.1.5 Memoria de cálculo para la adquisición de la disponibilidad de la capacidad de generación del mes de enero 2008.

Tomando en consideración la tabla de datos de energía disponible horaria del mes de enero 2008 y la siguiente fórmula se obtiene lo siguiente:

$$\sum_{i=1}^n \frac{Edh}{P_{\max}}$$

Donde:

$P_{\max_i} = 2500000$ kW

Edh = Energía disponible horaria que la central puede producir.

| | |
|---|---|
| $\frac{Edh_1}{P_{\max_1}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_1}{P_{\max_1}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_2}{P_{\max_2}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_2}{P_{\max_2}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_3}{P_{\max_3}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_3}{P_{\max_3}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_4}{P_{\max_4}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_4}{P_{\max_4}} = 1.0000000000000000$ |
| . | . |
| . | . |
| . | . |
| $\frac{Edh_{741}}{P_{\max_{741}}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{741}}{P_{\max_{741}}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_{742}}{P_{\max_{742}}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{742}}{P_{\max_{742}}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_{743}}{P_{\max_{743}}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{743}}{P_{\max_{743}}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_{744}}{P_{\max_{744}}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{744}}{P_{\max_{744}}} = 1.0000000000000000$ |

$$\sum_{i=1}^n \frac{Edh}{P_{\max}} = 740.096506$$

Así, la disponibilidad de la capacidad de generación puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Ed}{P_{\max}}$$

$$D = \frac{740.096506}{744} = 0.994753369193178$$

Por lo tanto la disponibilidad de la capacidad de generación de la central 1 del mes de enero del 2008 es:

$$D = 0.994753369193178$$

Calculando el Factor de Carga tenemos:

$$\text{Potencia Promedio} = 248688$$

$$\text{Potencia Máxima} = 250000$$

$$FC = \frac{248688}{250000} = 0.994753369193178$$

$$FC = 0.994753369193178$$

Calculando el Factor de Utilización mensual tenemos:

$$\text{Horas de utilización mensual} = 724$$

$$\text{Horas del mes} = 744$$

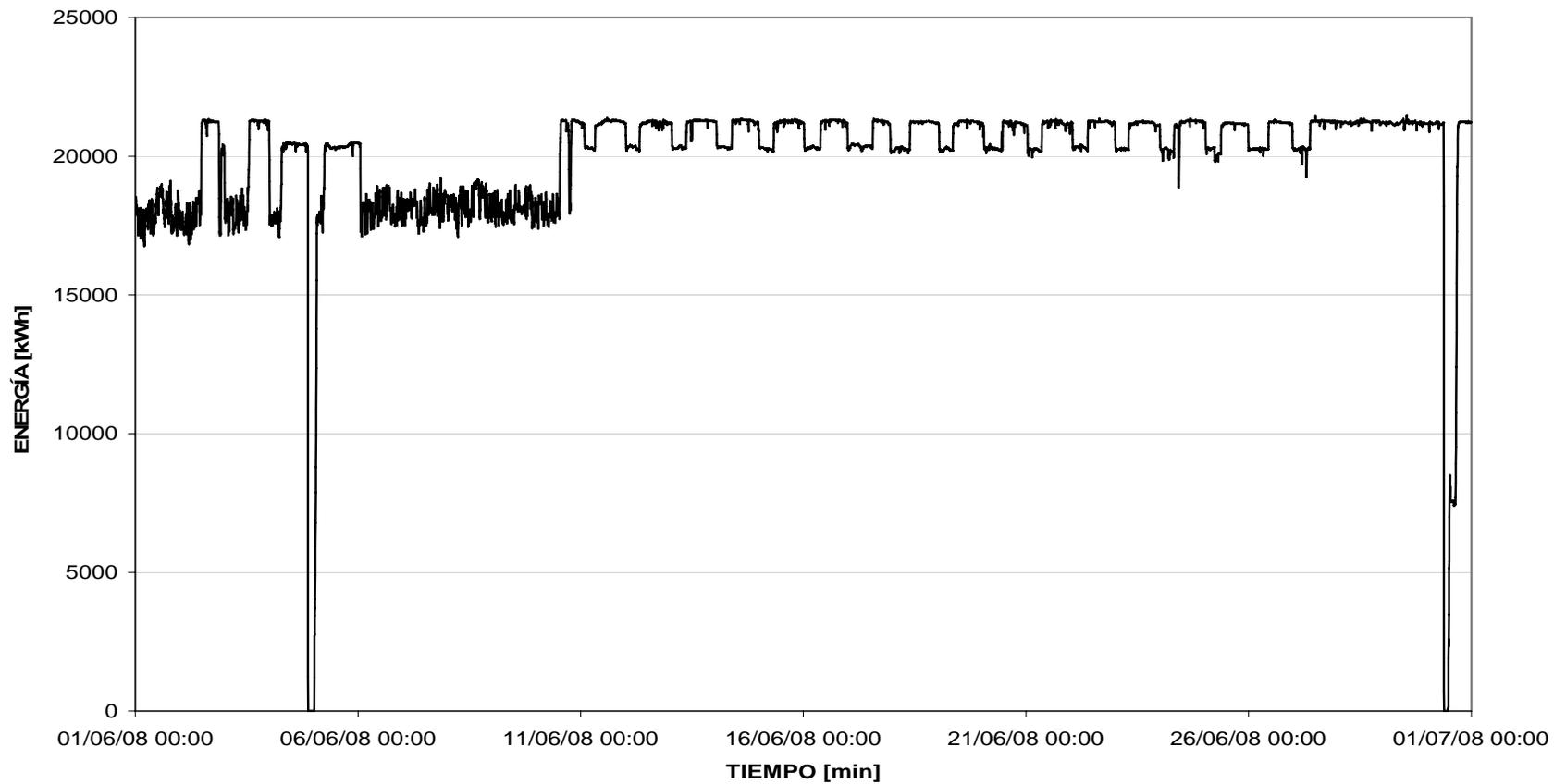
$$FU_m = \frac{724}{744} = 0.973454301075269$$

$$FU_m = 0.973454301075269$$



5.2.3.2.1 Curva de energía del mes de junio 2008. §§§§

**CURVA DE ENERGÍA 5 MINUTAL
CENTRAL 1
PERIODO DE TIEMPO: JUNIO 2008**



§§§§ Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que generan la gráfica mostrada.

5.2.3.2.2 Bitácora de eventos de la Central 1 del mes de junio 2008.

CENTRO DE CONTROL NOROESTE BITÁCORA DE EVENTOS DE LA CENTRAL: CENTRAL 1

| FECHA | Junio-08 | | CLAVE DE OPERACIÓN | LICENCIA No. | NODO | CAPACIDAD DECLARADA DISPONIBLE | CAUSA | OBSERVACIONES |
|----------------|----------------|--|--------------------|--------------|-----------|--------------------------------|------------|---|
| HORA INICIO | HORA FIN | | | | | | | |
| 04/06/08 21:00 | 05/06/08 01:50 | | L/TL | 204 | CENTRAL 1 | | EMERGENCIA | FALLÓ BOMBA DE LUBRICACIÓN. |
| 16/06/08 10:59 | 17/06/08 08:40 | | L/TL | 316 | CENTRAL 1 | | EMERGENCIA | INDISPONIBLE A CARGA MÁXIMA POR INSPECCION "A" Y CAMBIO DE LANZAS |
| 17/06/08 09:20 | 18/06/08 22:20 | | L/TL | 331 | CENTRAL 1 | | EMERGENCIA | INDISPONIBLE A CARGA MÁXIMA POR ESTAR BLOQUEADO EL ROTOR DE LA TURBINA DE GAS |
| 24/06/08 06:19 | 24/06/08 07:11 | | L/TL | 492 | CENTRAL 1 | | EMERGENCIA | INDISPONIBLE A CARGA MÁXIMA POR DISPARO DEBIDO A APERTURA DE VALVULA 11MBA81AA021 |
| 24/06/08 08:37 | 25/06/08 00:26 | | L/TL | 521 | CENTRAL 1 | | EMERGENCIA | INDISPONIBLE A CARGA MÁXIMA POR DISPARO |
| 25/06/08 14:24 | 25/06/08 18:28 | | L/TL | 567 | CENTRAL 1 | | EMERGENCIA | INDISPONIBLE A CARGA MÁXIMA POR DISPARO |
| 30/06/08 09:10 | 30/06/08 16:45 | | L/TL | 1343 | CENTRAL 1 | | EMERGENCIA | REVISIÓN POR DISPARO |

5.2.3.2.3 Energía disponible 5 minutal y curva de energía disponible 5 minutal del mes de junio 2008.

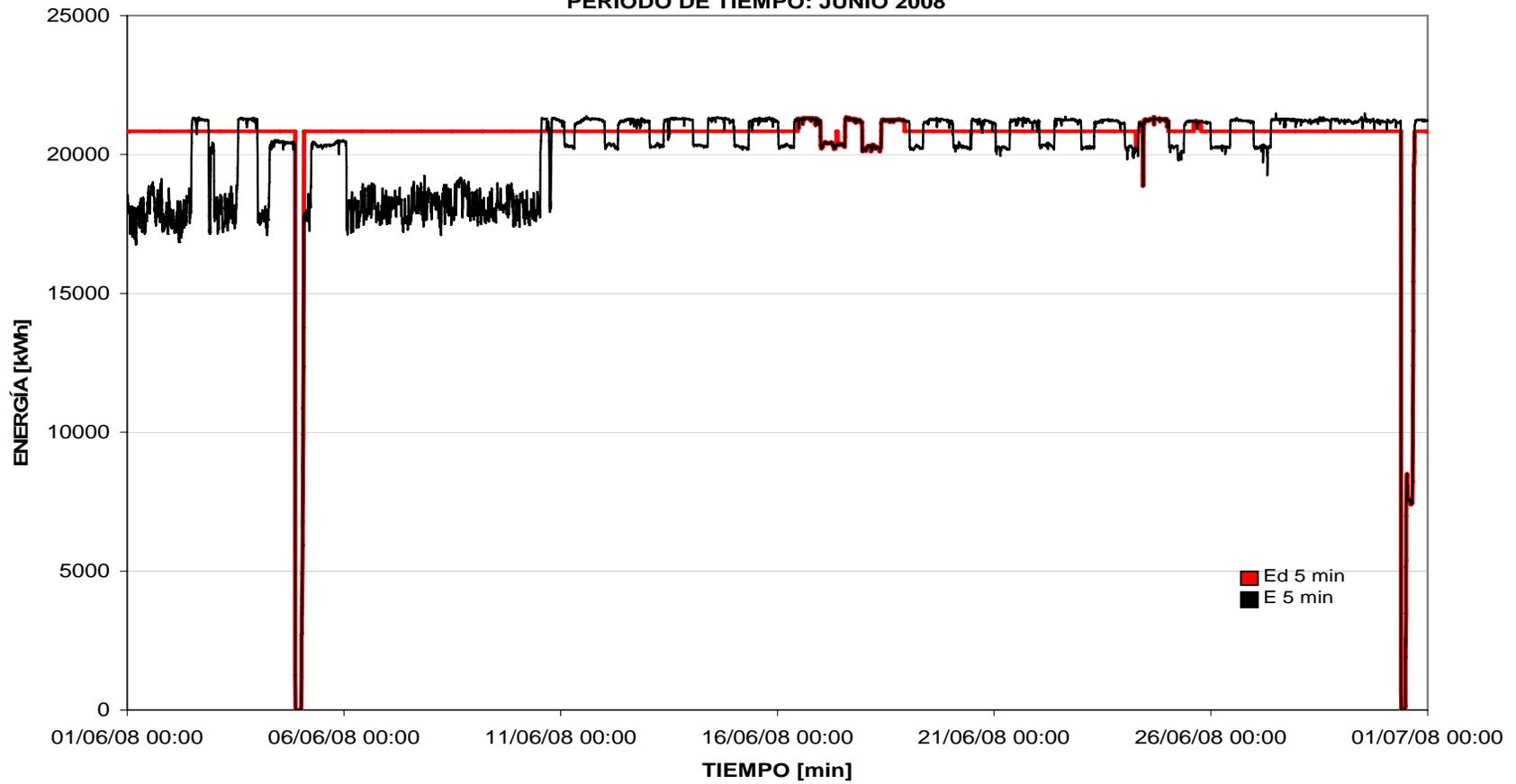
Energía disponible 5 minutal^{*****}

Resumen de los eventos que causaron indisponibilidad durante el mes de junio del 2008

| PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA 204 | PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA 316 | PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA 331 | PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA 492 | PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA 521 | PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA 567 | PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA 1343 | |
|-------------------|---------------|-------------------|--------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|--------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|
| | ENERGÍA [kWh] | Ed 5min [kWh] | | ENERGÍA [kWh] | Ed 5min [kWh] | | ENERGÍA [kWh] | Ed 5min [kWh] | | ENERGÍA [kWh] | Ed 5min [kWh] | | ENERGÍA [kWh] | Ed 5min [kWh] |
| | | | | | | | | | | | | | | |

***** Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que integran la tabla mostrada..

**CURVA DE E 5min Y Ed 5min
CENTRAL 1
PERIODO DE TIEMPO: JUNIO 2008**



####

Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que generan la gráfica mostrada.

5.2.3.2.4 Energía disponible horaria y curva de energía disponible horaria del mes de junio 2008.

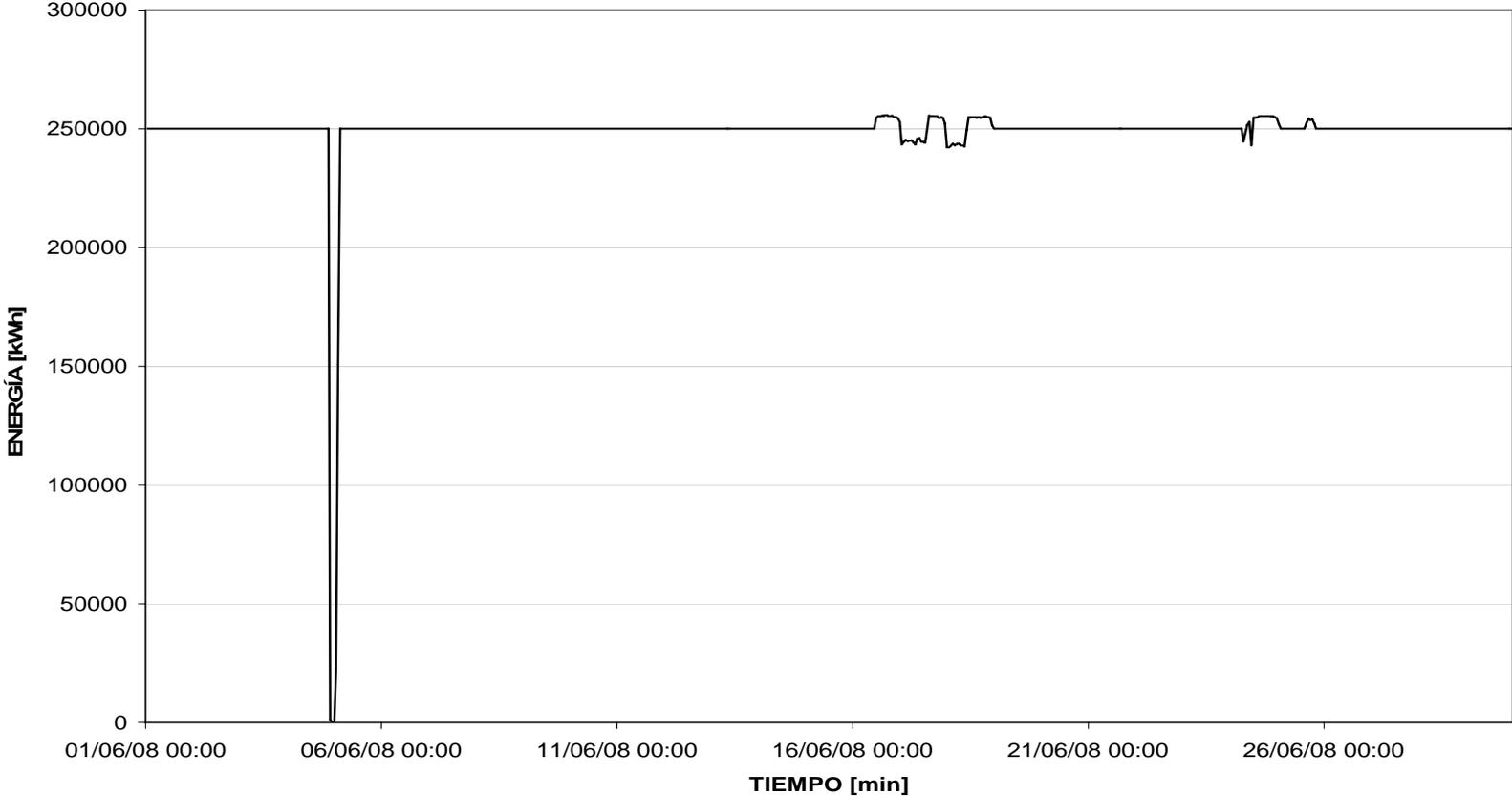
Cálculo de energía disponible horaria

| HORA | TIEMPO | Ed 5min [kWh] | | Σ Ed 5min | Edh _n | Edh [kWh] |
|------|----------------|-----------------------|------------|---|--------------------|-----------|
| 1 | 01/06/08 00:05 | Ed 5min ₁ | 20833.3333 | $Edh_1 = \Sigma (Ed5min_1 \dots Ed5min_{12})$ | Edh ₁ | 250000 |
| 1 | 01/06/08 00:10 | Ed 5min ₂ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/06/08 00:15 | Ed 5min ₃ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/06/08 00:20 | Ed 5min ₄ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/06/08 00:25 | Ed 5min ₅ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/06/08 00:30 | Ed 5min ₆ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/06/08 00:35 | Ed 5min ₇ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/06/08 00:40 | Ed 5min ₈ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/06/08 00:45 | Ed 5min ₉ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/06/08 00:50 | Ed 5min ₁₀ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/06/08 00:55 | Ed 5min ₁₁ | 20833.3333 | | | |
| 1 | 01/06/08 01:00 | Ed 5min ₁₂ | 20833.3333 | | | |
| . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . |
| 720 | 30/06/08 23:05 | Ed 5min ₁ | 20833.3333 | $Edh_{744} = \Sigma (Ed5min_1 \dots Ed5min_{12})$ | Edh ₇₄₄ | 250000 |
| 720 | 30/06/08 23:10 | Ed 5min ₂ | 20833.3333 | | | |
| 720 | 30/06/08 23:15 | Ed 5min ₃ | 20833.3333 | | | |
| 720 | 30/06/08 23:20 | Ed 5min ₄ | 20833.3333 | | | |
| 720 | 30/06/08 23:25 | Ed 5min ₅ | 20833.3333 | | | |
| 720 | 30/06/08 23:30 | Ed 5min ₆ | 20833.3333 | | | |
| 720 | 30/06/08 23:35 | Ed 5min ₇ | 20833.3333 | | | |
| 720 | 30/06/08 23:40 | Ed 5min ₈ | 20833.3333 | | | |
| 720 | 30/06/08 23:45 | Ed 5min ₉ | 20833.3333 | | | |
| 720 | 30/06/08 23:50 | Ed 5min ₁₀ | 20833.3333 | | | |
| 720 | 30/06/08 23:55 | Ed 5min ₁₁ | 20833.3333 | | | |
| 720 | 01/07/08 00:00 | Ed 5min ₁₂ | 20833.3333 | | | |



Datos de energía disponible horaria del mes de junio 2008^{§§§§§}

**CURVA DE ENERGÍA DISPONIBLE HORARIA
CENTRAL 1
PERIODO DE TIEMPO: JUNIO 2008**



^{§§§§§} Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE´s, se han omitido los datos que generan la gráfica mostrada.

5.2.3.2.5 Memoria de cálculo para la adquisición de la disponibilidad de la capacidad de generación del mes de junio 2008.

Tomando en consideración la tabla de datos de energía disponible horaria del mes de junio 2008 y la siguiente fórmula se obtiene lo siguiente:

$$\sum_{i=1}^n \frac{Edh}{P_{\max}}$$

Donde:

$P_{\max_h} = 2500000 \text{ kW}$

Edh = Energía disponible horaria que la central puede producir.

| | |
|---|---|
| $\frac{Edh_1}{P_{\max_1}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_1}{P_{\max_1}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_2}{P_{\max_2}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_2}{P_{\max_2}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_3}{P_{\max_3}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_3}{P_{\max_3}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_4}{P_{\max_4}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_4}{P_{\max_4}} = 1.0000000000000000$ |
| . | . |
| . | . |
| . | . |
| $\frac{Edh_{717}}{P_{\max_{717}}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{717}}{P_{\max_{717}}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_{718}}{P_{\max_{718}}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{718}}{P_{\max_{718}}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_{719}}{P_{\max_{719}}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{719}}{P_{\max_{719}}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_{720}}{P_{\max_{720}}} = \frac{250000}{250000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{720}}{P_{\max_{720}}} = 1.0000000000000000$ |

$$\sum_{i=1}^n \frac{Edh}{P_{\max}} = 710.7924371$$

Así, la disponibilidad de la capacidad de generación puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Ed}{P_{\max}}$$

$$D = \frac{710.7924341}{720} = 0.987211718196153$$

Por lo tanto la disponibilidad de la capacidad de generación de la central 1 del mes de junio del 2008 es:

$$D = 0.987211718196153$$

Calculando el Factor de Carga tenemos:

$$\text{Potencia Promedio} = 246803$$

$$\text{Potencia Máxima} = 250000$$

$$FC = \frac{246803}{250000} = 0.987211718196153$$

$$FC = 0.987211718196153$$

Calculando el Factor de Utilización mensual tenemos:

$$\text{Horas de utilización mensual} = 628$$

$$\text{Horas del mes} = 720$$

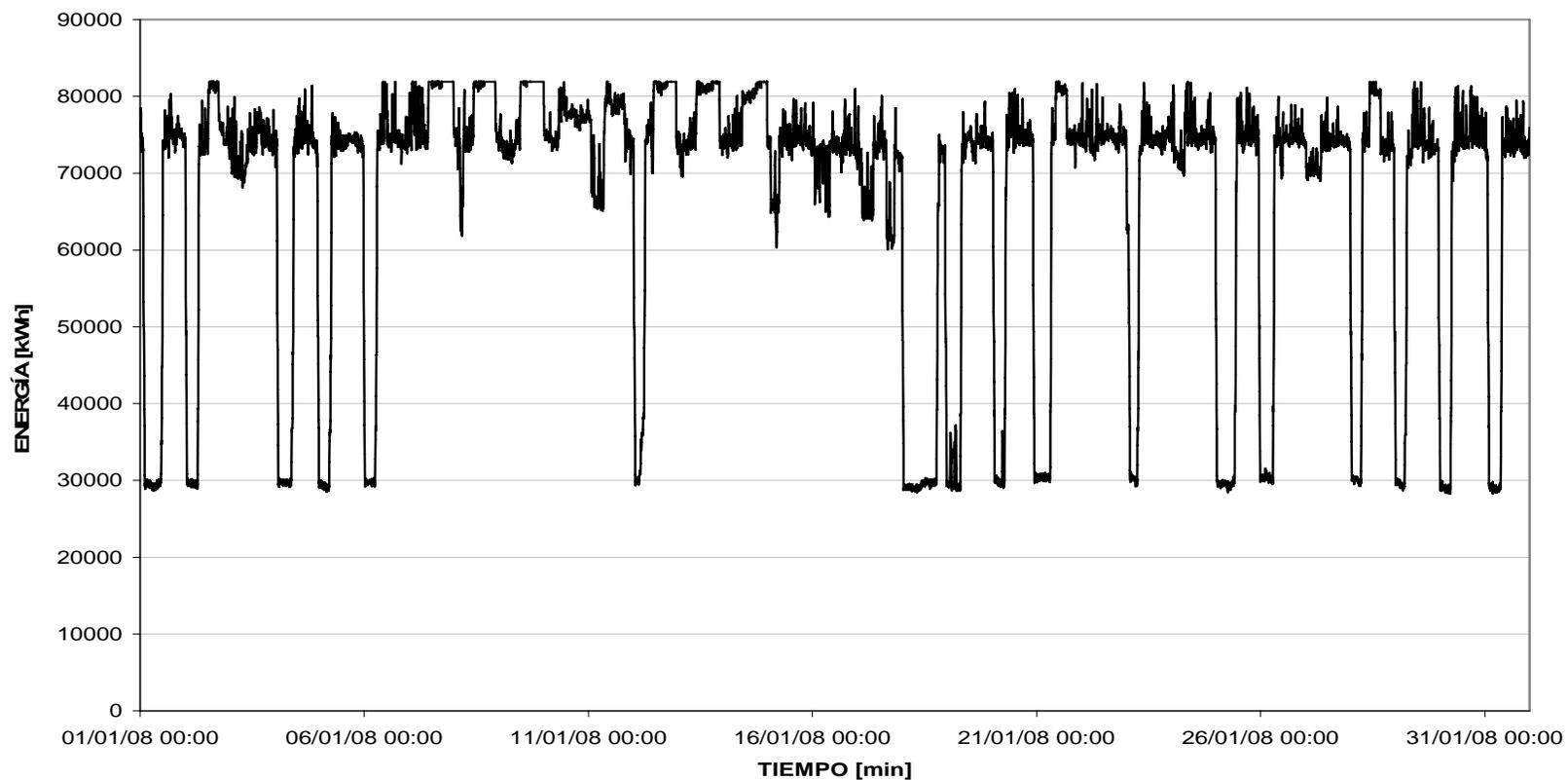
$$FU_m = \frac{628}{720} = 0.872453703703704$$

$$FU_m = 0.872453703703704$$

5.2.4 CENTRAL 2

5.2.4.1.1 Curva de energía del mes de enero 2008. *****

**CURVA DE ENERGÍA 5 MINUTAL
CENTRAL 2
PERIODO DE TIEMPO: ENERO 2008**



***** Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que generan la gráfica mostrada.



5.2.4.1.2 Bitácora de eventos de la Central 2 del mes de enero 2008.

**CENTRO DE CONTROL ORIENTAL
BITÁCORA DE EVENTOS DE LA CENTRAL: CENTRAL 2**

| FECHA | Enero-08 | | | | | | |
|-------------|----------|--------------------|--------------|------|--------------------------------|-------|---------------|
| HORA INICIO | HORA FIN | CLAVE DE OPERACIÓN | LICENCIA No. | NODO | CAPACIDAD DECLARADA DISPONIBLE | CAUSA | OBSERVACIONES |
| | | | | | | | Sin novedad |

5.2.4.1.3 Energía disponible 5 minutal y curva de energía disponible 5 minutal del mes de enero 2008.

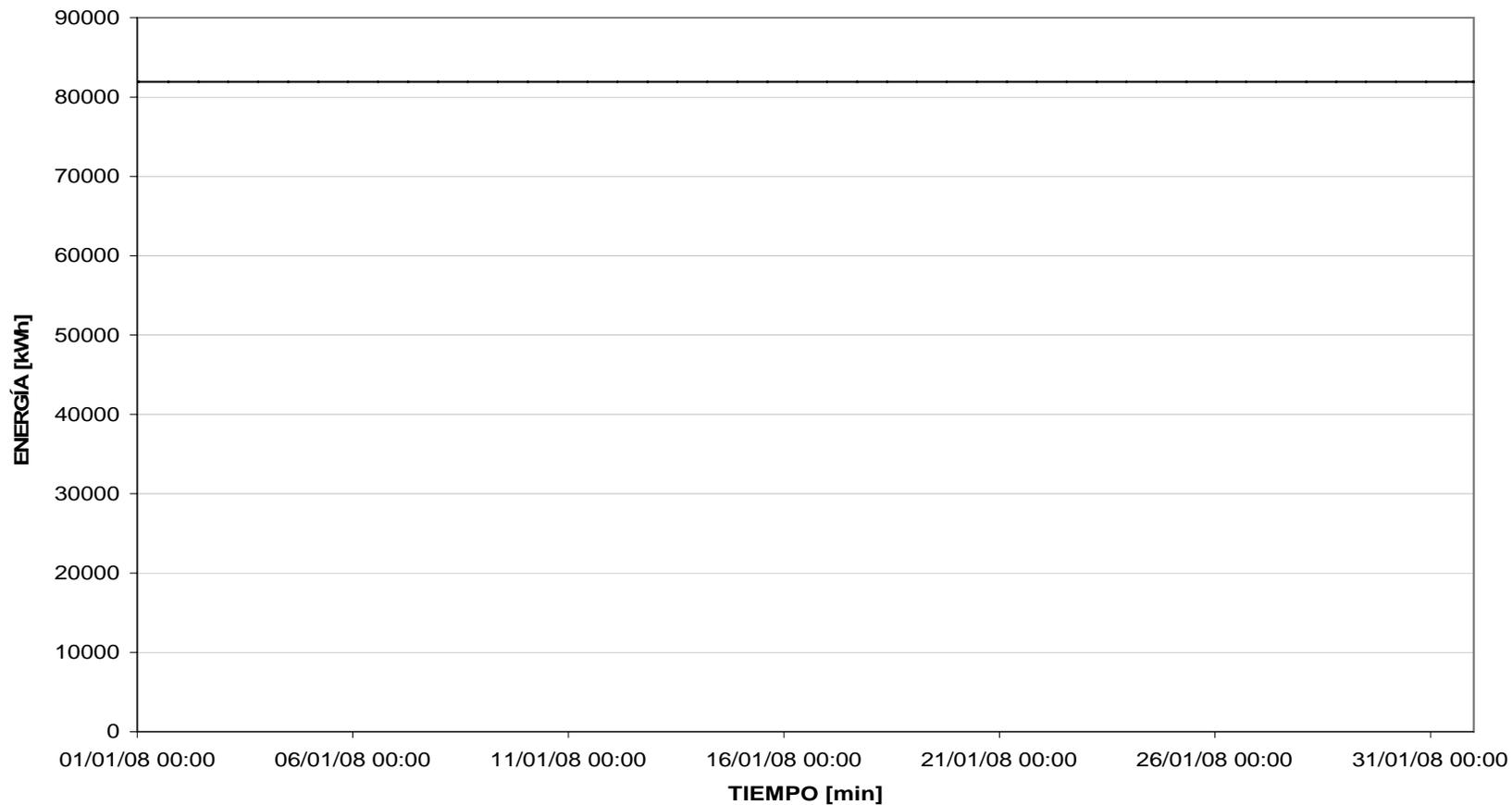
Energía disponible 5 minutal^{††††††}

Resumen de los eventos que causaron indisponibilidad durante el mes de enero del 2008

| PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA | |
|-------------------|---------------|---------------|
| | ENERGÍA [kWh] | Ed 5min [kWh] |
| . | . | . |

^{††††††} Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que integran la tabla mostrada.

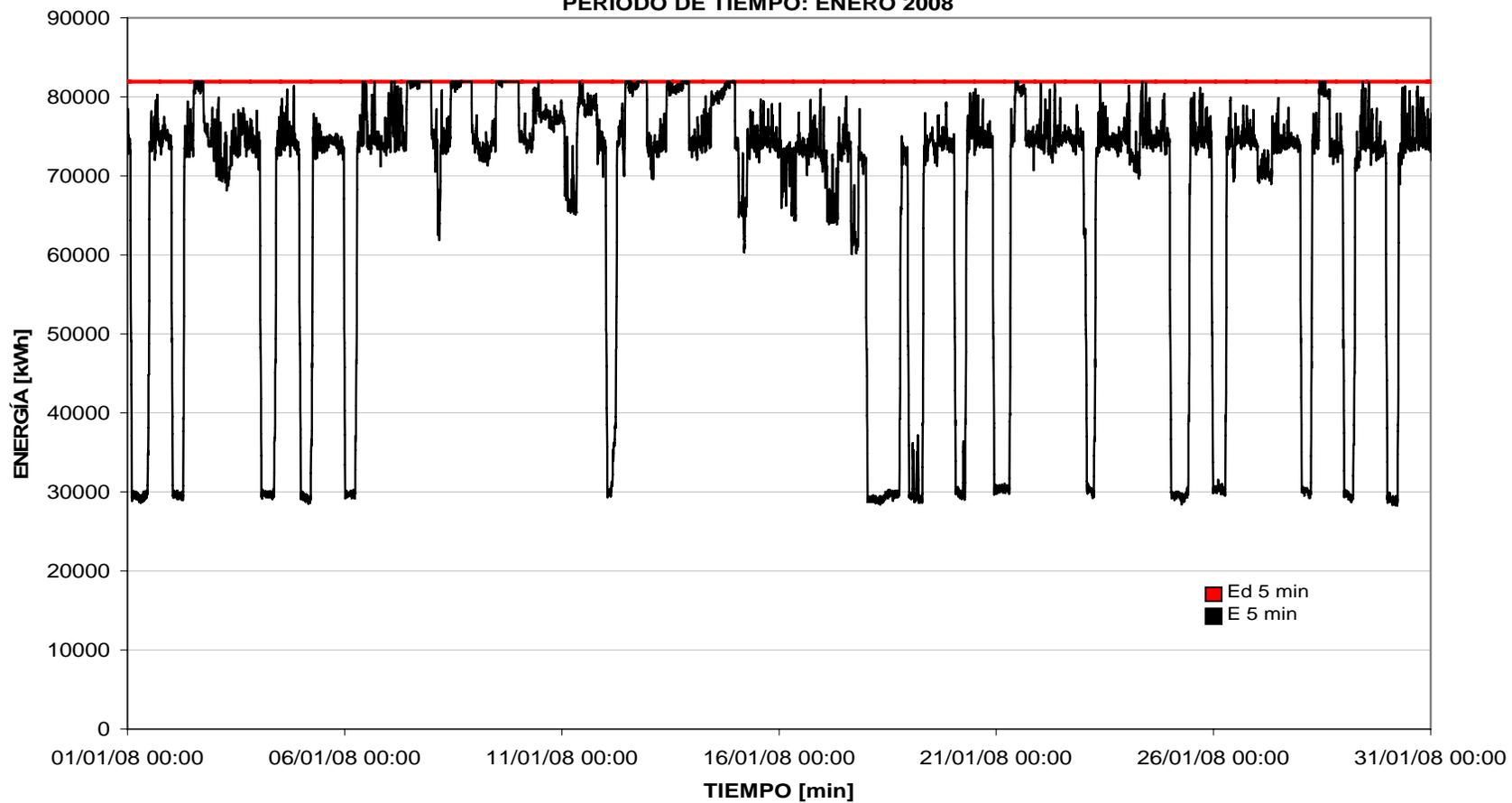
**CURVA DE ENERGÍA DISPONIBLE 5 MINUTAL
CENTRAL 2
PERIODO DE TIEMPO: ENERO 2008**



#####

Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que generan la gráfica mostrada.

**CURVA DE E 5min Y Ed 5min
CENTRAL 2
PERIODO DE TIEMPO: ENERO 2008**



§§§§§§

§§§§§§ Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que generan la gráfica mostrada.

5.2.4.1.4 Energía disponible horaria y curva de energía disponible horaria del mes de enero 2008.

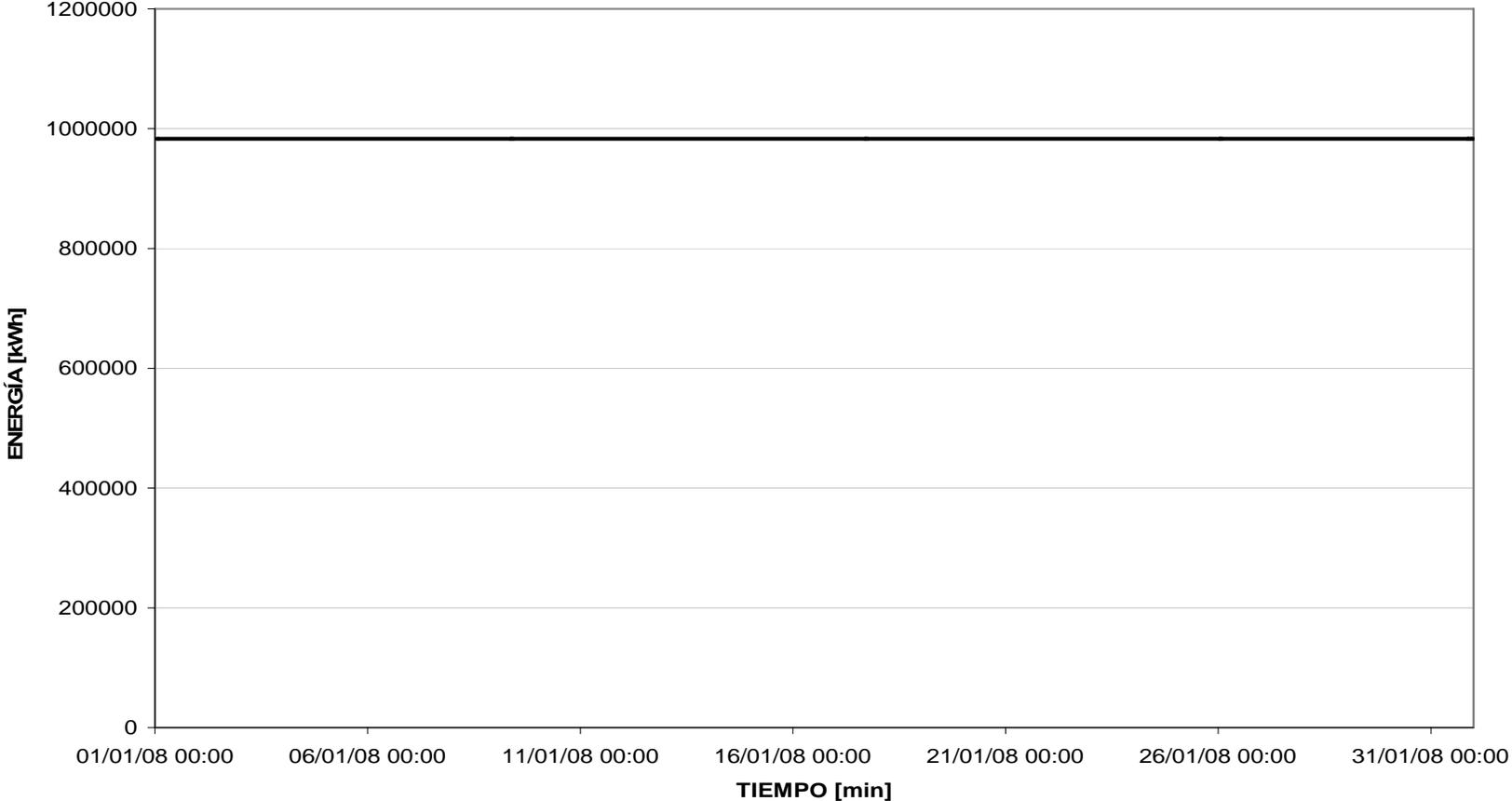
Cálculo de energía disponible horaria

| HORA | TIEMPO | Ed 5min [kWh] | | Σ Ed 5min | Edh _n | Edh [kWh] |
|------|----------------|-----------------------|----------|---|--------------------|-----------|
| 1 | 01/01/08 00:05 | Ed 5min ₁ | 81916.67 | $Edh_1 = \Sigma (Ed5min_1 \dots Ed5min_{12})$ | Edh ₁ | 983000 |
| 1 | 01/01/08 00:10 | Ed 5min ₂ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:15 | Ed 5min ₃ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:20 | Ed 5min ₄ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:25 | Ed 5min ₅ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:30 | Ed 5min ₆ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:35 | Ed 5min ₇ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:40 | Ed 5min ₈ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:45 | Ed 5min ₉ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:50 | Ed 5min ₁₀ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/01/08 00:55 | Ed 5min ₁₁ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/01/08 01:00 | Ed 5min ₁₂ | 81916.67 | | | |
| . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . |
| 744 | 31/01/08 23:05 | Ed 5min ₁ | 81916.67 | $Edh_{744} = \Sigma (Ed5min_1 \dots Ed5min_{12})$ | Edh ₇₄₄ | 983000 |
| 744 | 31/01/08 23:10 | Ed 5min ₂ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:15 | Ed 5min ₃ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:20 | Ed 5min ₄ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:25 | Ed 5min ₅ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:30 | Ed 5min ₆ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:35 | Ed 5min ₇ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:40 | Ed 5min ₈ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:45 | Ed 5min ₉ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:50 | Ed 5min ₁₀ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/01/08 23:55 | Ed 5min ₁₁ | 81916.67 | | | |
| 744 | 01/02/08 00:00 | Ed 5min ₁₂ | 81916.67 | | | |



Datos de energía disponible horaria del mes de enero 2008 *****

**CURVA DE ENERGÍA DISPONIBLE HORARIA
CENTRAL 2
PERIODO DE TIEMPO: ENERO 2008**



***** Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE´s, se han omitido los datos que generan la gráfica mostrada.

5.2.3.1.5 Memoria de cálculo para la adquisición de la disponibilidad de la capacidad de generación del mes de enero 2008.

Tomando en consideración la tabla de datos de energía disponible horaria del mes de enero 2008 y la siguiente fórmula se obtiene lo siguiente:

$$\sum_{i=1}^n \frac{Edh}{P_{\max}}$$

Donde:

$P_{\max_i} = 9830000 \text{ kW}$

Edh = Energía disponible horaria que la central puede producir.

| | |
|---|---|
| $\frac{Edh_1}{P_{\max_1}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_1}{P_{\max_1}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_2}{P_{\max_2}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_2}{P_{\max_2}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_3}{P_{\max_3}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_3}{P_{\max_3}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_4}{P_{\max_4}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_4}{P_{\max_4}} = 1.0000000000000000$ |
| . | . |
| . | . |
| . | . |
| $\frac{Edh_{741}}{P_{\max_{741}}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{741}}{P_{\max_{741}}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_{742}}{P_{\max_{742}}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{742}}{P_{\max_{742}}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_{743}}{P_{\max_{743}}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{743}}{P_{\max_{743}}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_{744}}{P_{\max_{744}}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{744}}{P_{\max_{744}}} = 1.0000000000000000$ |

$$\sum_{i=1}^n \frac{Edh}{P_{\max}} = 744$$

Así, la disponibilidad de la capacidad de generación puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Ed}{P_{\max}}$$

$$D = \frac{744}{744} = 1.0000000000000000$$

Por lo tanto la disponibilidad de la capacidad de generación de la central 2 del mes de enero del 2008 es:

$$D = 1.0000000000000000$$

Calculando el Factor de Carga tenemos:

$$\text{Potencia Promedio} = 983000$$

$$\text{Potencia Máxima} = 983000$$

$$FC = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$$

$$FC = 1.0000000000000000$$

Calculando el Factor de Utilización mensual tenemos:

$$\text{Horas de utilización mensual} = 744$$

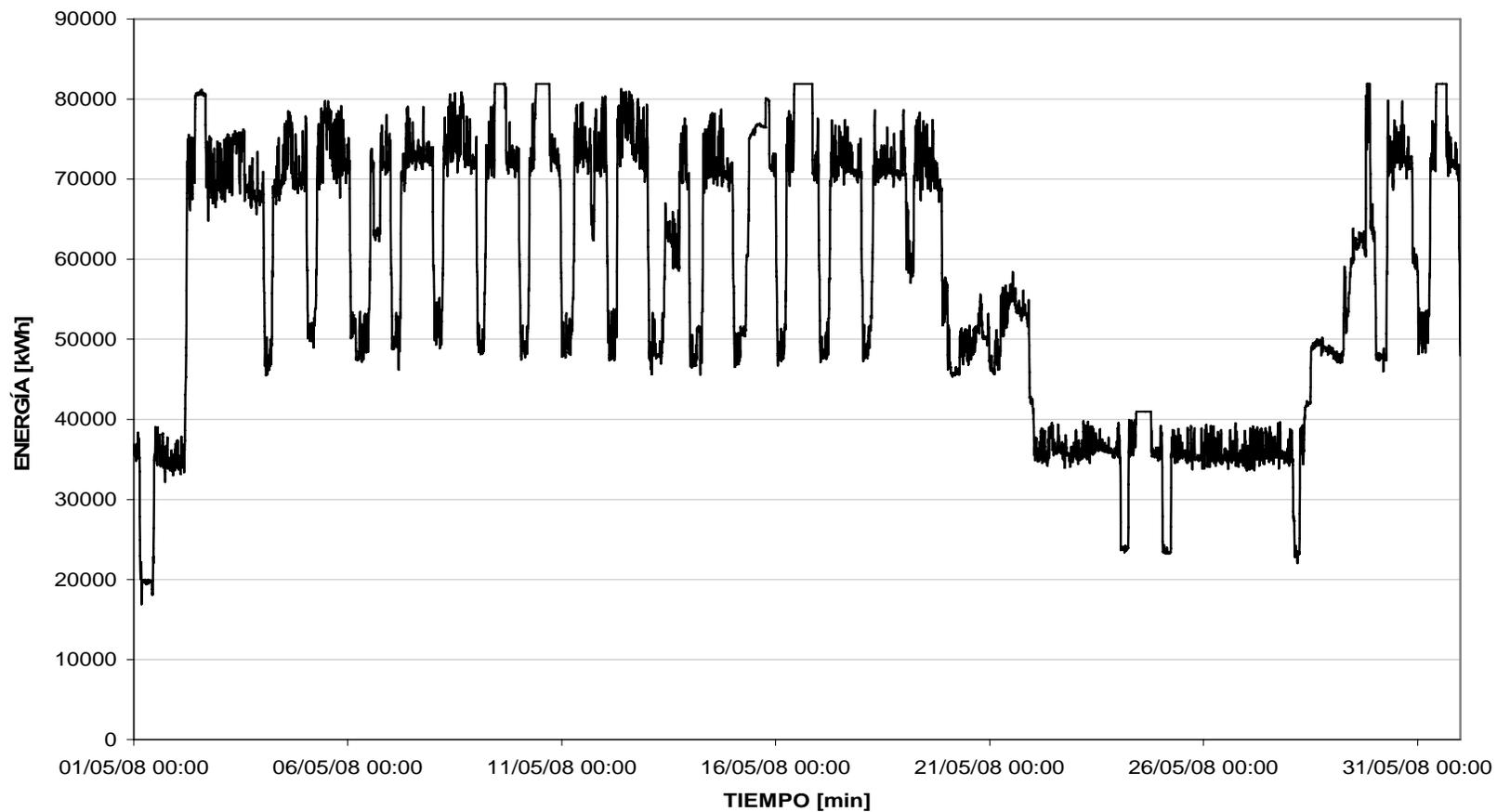
$$\text{Horas del mes} = 744$$

$$FU_m = \frac{744}{744} = 1.0000000000000000$$

$$FU_m = 1.0000000000000000$$

5.2.4.2.1 Curva de energía del mes de mayo 2008. ††††††

**CURVA DE ENERGÍA 5 MINUTAL
CENTRAL 2
PERIODO DE TIEMPO: MAYO 2008**



†††††† Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que generan la gráfica mostrada.

5.2.4.2.2 Bitácora de eventos de la Central 2 del mes de mayo 2008.

CENTRO DE CONTROL ORIENTAL BITÁCORA DE EVENTOS DE LA CENTRAL: CENTRAL 2

| FECHA | Mayo-08 | | | | | | |
|----------------|----------------|--------------------|--------------|-----------|--------------------------------|-------|--|
| HORA INICIO | HORA FIN | CLAVE DE OPERACIÓN | LICENCIA No. | NODO | CAPACIDAD DECLARADA DISPONIBLE | CAUSA | OBSERVACIONES |
| 15/05/08 06:30 | 15/05/08 08:25 | L/TL | 35 | CENTRAL 2 | 750000 | | DECLARACIÓN A 750 MW/ PRUEBAS |
| 15/05/08 08:25 | 15/05/08 09:05 | L/TL | 35 | CENTRAL 2 | | | DISPARO POR ALTA TEMPERATURA EN TURBINA DE GAS |
| 19/05/08 21:00 | 19/05/08 21:50 | L/TL | 50 | CENTRAL 2 | | | MANTENIMIENTO BLOQUE IV |
| 19/05/08 21:50 | 21/05/08 21:30 | L/TL | 50 | CENTRAL 2 | 750000 | | DECLARACIÓN A 750 MW /PRUEBAS MTO |
| 21/05/08 21:30 | 22/05/08 00:40 | L/TL | 50 | CENTRAL 2 | | | DISPARO POR ALTA TEMPERATURA EN TURBINA DE VAPOR |
| 22/05/08 00:40 | 28/05/08 08:25 | L/TL | 50 | CENTRAL 2 | 491500 | | DECLARACIÓN A 491.5 MW / INSPECCIÓN |
| 28/05/08 08:25 | 29/05/08 21:10 | L/TL | 50 | CENTRAL 2 | 491500 | | DECLARACIÓN A 491.5 / INSPECCIÓN |

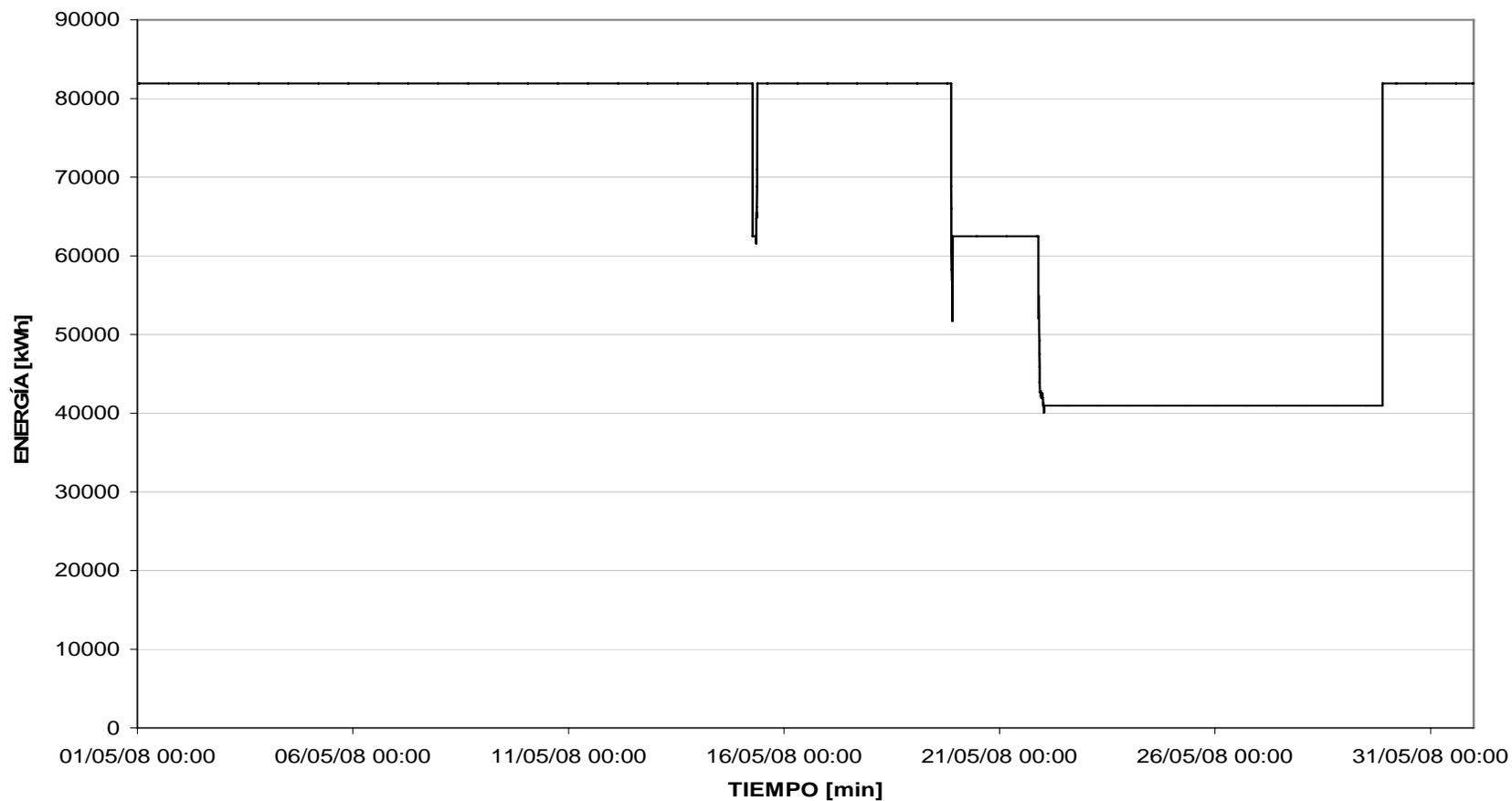
5.2.4.2.3 Energía disponible 5 minutil y curva de energía disponible 5 minutil del mes de mayo 2008.

Resumen de los eventos que causaron indisponibilidad durante el mes de mayo del 2008⁺⁺⁺⁺⁺

| PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA 35 | | PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA 35 | | PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA 50 | | PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA 50 | | PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA 50 | | PERIODO DE TIEMPO | LICENCIA 50 | |
|-------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|-------------------|-------------|--|
| | ENERGÍA [kWh] | Ed 5min [kWh] | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

+++++ Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que integran la tabla mostrada.

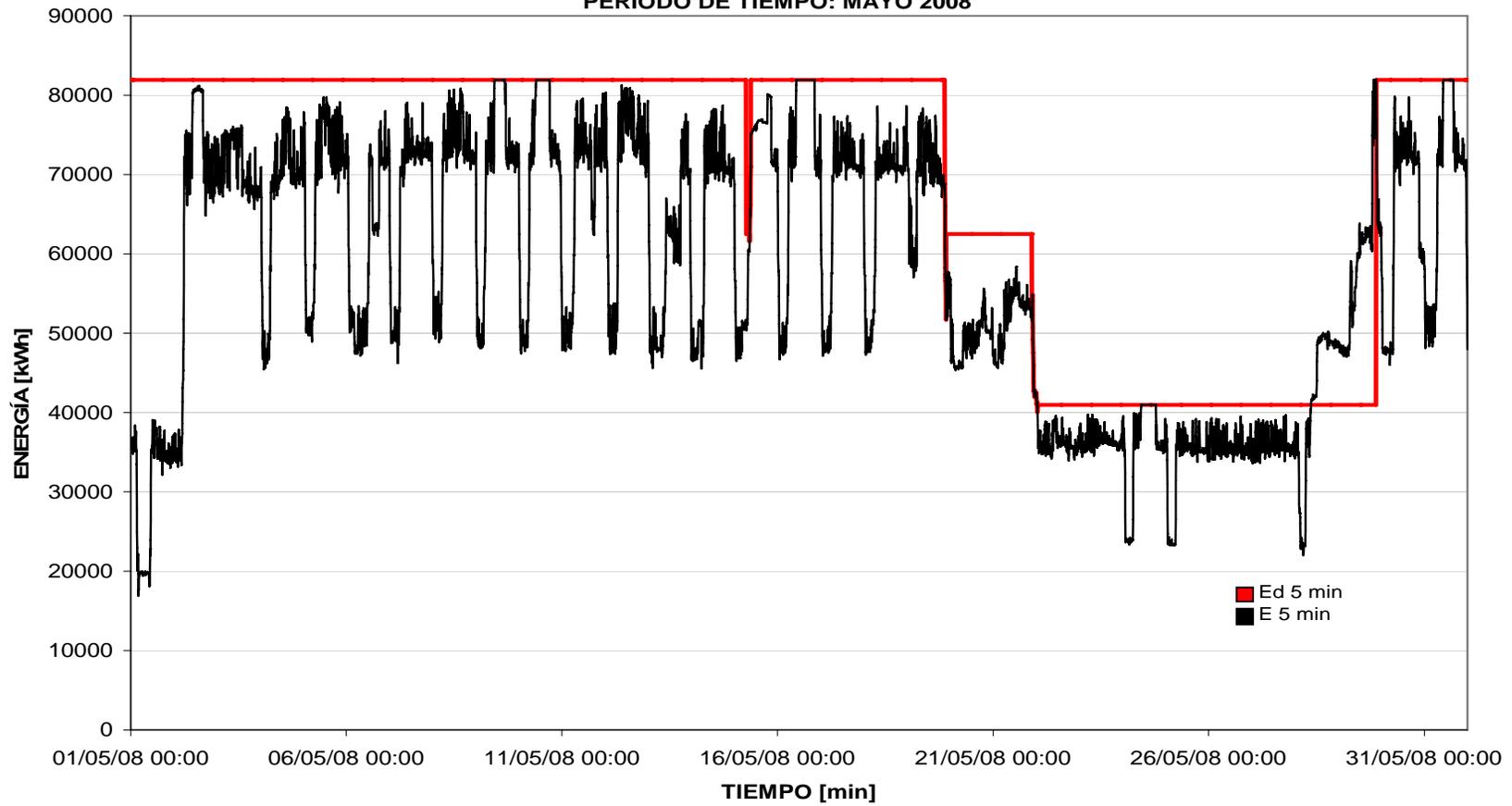
**CURVA DE ENERGÍA DISPONIBLE 5 MINUTAL
CENTRAL 2
PERIODO DE TIEMPO: MAYO 2008**



§§§§§§§

§§§§§§§ Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que generan la gráfica mostrada.

**CURVA DE E 5min Y Ed 5min
CENTRAL 2
PERIODO DE TIEMPO: MAYO 2008**



Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que generan la gráfica mostrada.

5.2.4.2.4 Energía disponible horaria y curva de energía disponible horaria del mes de mayo 2008.

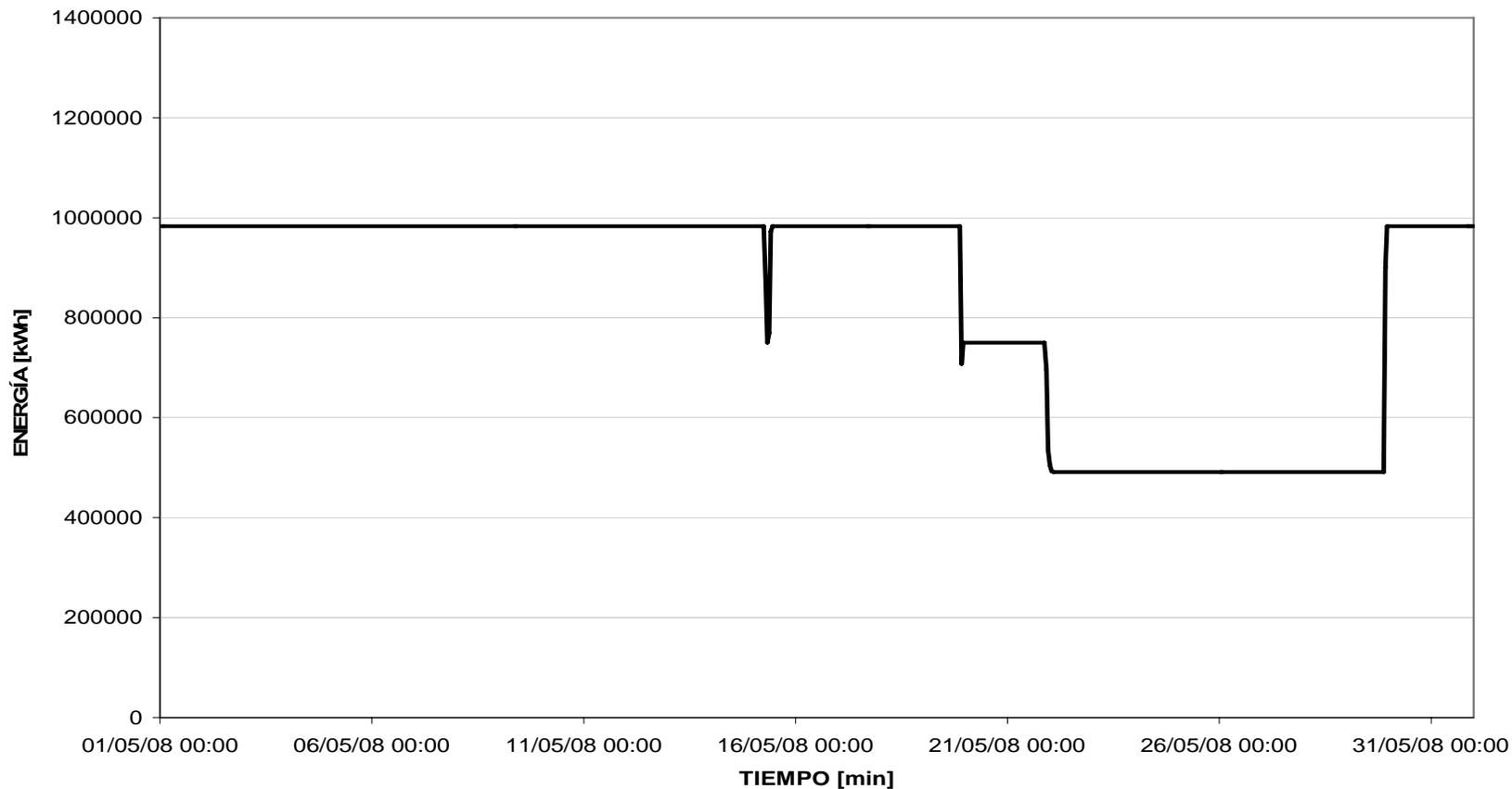
Cálculo de energía disponible horaria

| HORA | TIEMPO | Ed 5min [kWh] | | Σ Ed 5min | Edh _n | Edh [kWh] |
|------|----------------|-----------------------|----------|---|--------------------|-----------|
| 1 | 01/05/08 00:05 | Ed 5min ₁ | 81916.67 | $Edh_1 = \Sigma (Ed_{5min_1} \dots Ed_{5min_{12}})$ | Edh ₁ | 983000 |
| 1 | 01/05/08 00:10 | Ed 5min ₂ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/05/08 00:15 | Ed 5min ₃ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/05/08 00:20 | Ed 5min ₄ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/05/08 00:25 | Ed 5min ₅ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/05/08 00:30 | Ed 5min ₆ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/05/08 00:35 | Ed 5min ₇ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/05/08 00:40 | Ed 5min ₈ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/05/08 00:45 | Ed 5min ₉ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/05/08 00:50 | Ed 5min ₁₀ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/05/08 00:55 | Ed 5min ₁₁ | 81916.67 | | | |
| 1 | 01/05/08 01:00 | Ed 5min ₁₂ | 81916.67 | | | |
| . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . |
| 744 | 31/05/08 23:05 | Ed 5min ₁ | 81916.67 | $Edh_{744} = \Sigma (Ed_{5min_1} \dots Ed_{5min_{12}})$ | Edh ₇₄₄ | 983000 |
| 744 | 31/05/08 23:10 | Ed 5min ₂ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/05/08 23:15 | Ed 5min ₃ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/05/08 23:20 | Ed 5min ₄ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/05/08 23:25 | Ed 5min ₅ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/05/08 23:30 | Ed 5min ₆ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/05/08 23:35 | Ed 5min ₇ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/05/08 23:40 | Ed 5min ₈ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/05/08 23:45 | Ed 5min ₉ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/05/08 23:50 | Ed 5min ₁₀ | 81916.67 | | | |
| 744 | 31/05/08 23:55 | Ed 5min ₁₁ | 81916.67 | | | |
| 744 | 01/06/08 00:00 | Ed 5min ₁₂ | 81916.67 | | | |



Datos de energía disponible horaria del mes de mayo 2008

**CURVA DE ENERGÍA DISPONIBLE HORARIA
CENTRAL 2
PERIODO DE TIEMPO: MAYO 2008**



***** Por motivos de confidencialidad de las centrales de los PIE's, se han omitido los datos que generan la gráfica mostrada.

5.2.4.2.5 Memoria de cálculo para la adquisición de la disponibilidad de la capacidad de generación del mes de mayo 2008.

Tomando en consideración la tabla de datos de energía disponible horaria del mes de mayo 2008 y la siguiente fórmula se obtiene lo siguiente:

$$\sum_{i=1}^n \frac{Edh}{P_{\max}}$$

Donde:

$P_{\max_h} = 9830000 \text{ kW}$

Edh = Energía disponible horaria que la central puede producir.

| | |
|---|---|
| $\frac{Edh_1}{P_{\max_1}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_1}{P_{\max_1}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_2}{P_{\max_2}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_2}{P_{\max_2}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_3}{P_{\max_3}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_3}{P_{\max_3}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_4}{P_{\max_4}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_4}{P_{\max_4}} = 1.0000000000000000$ |
| . | . |
| . | . |
| . | . |
| $\frac{Edh_{741}}{P_{\max_{741}}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{741}}{P_{\max_{741}}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_{742}}{P_{\max_{742}}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{742}}{P_{\max_{742}}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_{743}}{P_{\max_{743}}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{743}}{P_{\max_{743}}} = 1.0000000000000000$ |
| $\frac{Edh_{744}}{P_{\max_{744}}} = \frac{983000}{983000} = 1.0000000000000000$ | $\frac{Edh_{744}}{P_{\max_{744}}} = 1.0000000000000000$ |

$$\sum_{i=1}^n \frac{Edh}{P_{\max}} = 636.178204$$

Así, la disponibilidad de la capacidad de generación puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Ed}{P_{\max}}$$

$$D = \frac{636.178204}{744} = 0.855078231754332$$

Por lo tanto la disponibilidad de la capacidad de generación de la central 2 del mes de mayo del 2008 es:

$$D = 0.855078231754332$$

Calculando el Factor de Carga tenemos:

$$\text{Potencia Promedio} = 840542$$

$$\text{Potencia Máxima} = 983000$$

$$FC = \frac{840542}{983000} = 0.855078231754340$$

$$FC = 0.855078231754340$$

Calculando el Factor de Utilización mensual tenemos:

$$\text{Horas de utilización mensual} = 501$$

$$\text{Horas del mes} = 744$$

$$FU_m = \frac{501}{744} = 0.673723118279570$$

$$FU_m = 0.673723118279570$$

CONCLUSIONES

Como se ha podido observar a través de los distintos puntos tratados, las centrales de ciclo combinado se han transformado en una parte esencial del presente y futuro del Sistema Eléctrico Nacional, estas centrales presentan una rápida respuesta a los cambios en la demanda y una alta disponibilidad, esto asegura que el Sistema Eléctrico cuenta con plantas generadoras que garantizan su capacidad de generación de energía eléctrica en cualquier momento para satisfacer la demanda del país.

Debido a que la capacidad de generación que las centrales de Productores Independientes de Energía aportan al Sistema Eléctrico Nacional es razonable, ya que de 49,931 MW a 11,456.90 MW corresponden a los Productores Independientes, se analizó el porcentaje de tiempo que dos centrales se mantienen generando energía eléctrica de forma continua, considerando que dichas centrales tienen ubicación geográfica distinta y siendo analizadas en los meses en los que se tienen temperaturas ambiente extremas, demostrándose que existen algunos eventos programados y no programados, registrados en las bitácoras de eventos de dichas centrales, que afectan su disponibilidad de generación, como mantenimientos programados, disparos de las centrales e incluso la temperatura ambiente.

Se observó que en el mes de enero, cuando ambas centrales tienen temperaturas bajas, son más eficientes debido a que los compresores asociados a las turbinas de gas impulsan una masa mayor de aire, hecho que determina un aumento en la potencia de la turbina de gas, esto benefició la disponibilidad de generación de energía eléctrica de la Central II y debía beneficiar de la misma forma la Central I, pero en esta última se presentaron eventos programados y disparos que afectaron la disponibilidad de generación eléctrica.

Por el contrario, se observó que en los meses de mayo y junio, cuando ambas centrales tienen temperaturas ambiente muy altas son menos eficientes y se disminuye su potencia, hecho que perjudica la disponibilidad de generación de energía eléctrica de ambas centrales, además de que se presentaron disparos en las mismas.

Lo anterior se demostró de la misma forma con el factor de carga y el factor de utilización obtenido de cada central.

Por ello, los resultados de disponibilidad y confiabilidad de las centrales generadoras de energía son importantes para evaluar el cumplimiento de las metas propuestas que radican en un buen servicio.

Así, la gestión de una central de Productor Independiente de energía tiene en cuenta aspectos como una altísima disponibilidad, considera las continuas variaciones de carga, las implicaciones económicas de una avería fortuita, etc, contando con personal preparado y con experiencia para abordar la gestión de la explotación de la central ya que esto es un requisito indispensable tanto para garantizar un suministro de energía de calidad y disponible, como para permitir un funcionamiento del mercado efectivo en beneficio de todos.

Finalmente es necesario mencionar que a pesar de que en México no se tienen planes de crecimiento energético a corto plazo debido a que se cuenta con una gran reserva, es de gran importancia la disponibilidad y buen desempeño de todas las centrales generadoras de electricidad para proporcionar un buen servicio a todos los usuarios.



BIBLIOGRAFÍA

<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/queescfe/historia/>

<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/queescfe/historia/electricidadenmexico/>

<http://www.iie.org.mx/2001a/energia2.pdf>

<http://www.cfe.gob.mx/es/laempresa/planeacion/poise2007-2015/poise2007-2015.htm>

<http://www2.ing.puc.cl/~power/alumno98/regfrec/indice.html>

<http://ierd.prd.org.mx/coyuntura99/jmy1.htm>

http://www.mexicoinvestordigest.com/index.php?option=com_content&task=view&id=64&Itemid=97

<http://guianegociosmexico.com/pdfs/08es.pdf>

<http://buscador.ifai.org.mx/estudios/2005/DGEI-023-06%20Estudio-2445-CFE.doc>

<http://smn.cna.gob.mx/productos/map-lluv/hmproduc.html>
Glosario

Instructivo de Trabajo No. 410000-01 “Reporte Mensual de Índices de operación y disponibilidad de las centrales generadoras” LyFC Junio 2003