



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE  
OPORTUNIDADES PARA EL AHORRO DE  
ENERGÍA EN SISTEMAS DE COGENERACIÓN**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO QUÍMICO**

P R E S E N T A:

**RIVERA HERNÁNDEZ ERIC**



DIRECTOR DE TESIS: M. en I. FRANCISCO MARTÍN  
MENDOZA MÉNDEZ

México D. F. Febrero de 2013.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

\*ZARAGOZA\*

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**SOLICITUD DE REGISTRO DE TESIS PROFESIONAL**

Nombre del Alumno (a): Rivera Hernández Eric

No. de cuenta: 406006332

Tema propuesto: Proceso de identificación de oportunidades para el ahorro de energía en sistemas de cogeneración.

Modo de titulación: TESIS PROFESIONAL

Director de Tesis: M. en I. Francisco Martín Mendoza Méndez\*

Firma:

Escuela o Facultad de adscripción del Director Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE).

México D.F., a 11 de septiembre de 2012

Vo.Bo.

**DR. ROBERTO MENDOZA SERNA**  
**JEFE DE CARRERA**



ANEXOS:

1. Protocolo en base al reglamento de exámenes Profesionales
2. Curriculum Vitae del director de Tesis.

NOTA: Una vez aprobado y registrado el tema, **NO** se podrá modificar el contenido.  
c.c.p. Jefe de la Carrera de Ingeniería Química.  
c.c.p. Servicios Escolares



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

\*ZARAGOZA\*

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

ASUNTO: Revisión Oficial de Tesis Profesional

AL JEFE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA PRESENTE

Por medio del presente, hago de su conocimiento la aprobación al trabajo recepcional, desarrollado bajo mi asesoría por parte del alumno(a):

Rivera Hernández Eric

Pasante de la carrera de Ingeniería Química bajo el título:

Proceso de identificación de oportunidades para el ahorro de energía en sistemas de cogeneración.

ATENTAMENTE "POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU" México D. F., a 20 de noviembre de 2012

M. en I, Francisco Martín Méndez Méndez ASESOR

Vo.Bo. DR. ROBERTO MENDOZA SERNA JEFE DE CARRERA



c.c.p. Unidad de Administración Escolar c.c.p. Interesado

NOTA: La impresión definitiva del trabajo, no se podrá efectuar hasta obtenida la aprobación por parte de los sinodales para Examen Profesional



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

\*ZARAGOZA\*

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/ 391/12

ASUNTO: Asignación de Jurado

Alumno (a): Rivera Hernández Eric

**PRESENTE**

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

<b>PRESIDENTE</b>	<b>I.Q. EDUARDO VÁZQUEZ ZAMORA</b>
<b>VOCAL</b>	<b>M. en I. FRANCISCO MARTÍN MENDOZA MÉNDEZ*</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>I.Q. RAUL RAMÓN MORA HERNÁNDEZ</b>
<b>SUPLENTE</b>	<b>M. en I. RAFAEL SÁNCHEZ DIRZO</b>
<b>SUPLENTE</b>	<b>I.Q. DOMINGA ORTIZ BAUTISTA</b>

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

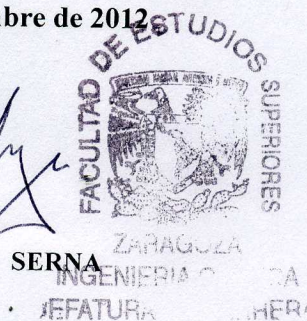
**ATENTAMENTE**

**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**

México D.F. a 21 de noviembre de 2012

**JEFE DE CARRERA**

**DR. ROBERTO MENDOZA SERNA**





UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES "ZARAGOZA"

DIRECCIÓN

**JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN  
ESCOLAR  
PRESENTE.**

Comunico a usted que al alumno(a) Rivera Hernández Eric con número de cuenta 406006332 de la carrera Ingeniería Química, se le ha fijado el día 22 del mes de febrero de 2013 a las 12:00 horas para presentar su examen profesional, que tendrá lugar en la sala de exámenes profesionales del Campus II de esta Facultad, con el siguiente jurado:

PRESIDENTE	I.Q. EDUARDO VÁZQUEZ ZAMORA	_____
VOCAL	M. en I. FRANCISCO MARTÍN MENDOZA MÉNDEZ*	_____
SECRETARIO	I.Q. RAUL RAMÓN MORA HERNÁNDEZ	_____
SUPLENTE	M. en I. RAFAEL SÁNCHEZ DIRZO	_____
SUPLENTE	I.Q. DOMINGA ORTIZ BAUTISTA	_____

El título de la tesis que se presenta es: **Proceso de identificación de oportunidades para el ahorro de energía en sistemas de cogeneración.**

Opción de Titulación: Tesis profesional

**A T E N T A M E N T E**  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
**México, D. F. a 13 de diciembre de 2012.**

**DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NUÑEZ**  
**DIRECTOR**

RECIBÍ:

OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES  
Y DE GRADO

Vo.Bo.

DR. ROBERTO MENDOZA SERNA  
JEFE DE LA CARRERA DE I.Q.

**“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa.”**

**Mahatma Gandhi (1869-1948) Político y pensador indio**

## DEDICATORIA

A Dios Padre Todopoderoso, creador del cielo y de la tierra por darme la vida, salud, sabiduría e inteligencia y por brindarme la oportunidad de vivir esta etapa de mi vida, concluyendo mi primer objetivo profesional.

A mis Padres Edy y Yola, gracias por ayudarme a culminar una de mis principales metas, sin duda esto no hubiera sido posible sin su valioso apoyo durante mi formación profesional, Dios me los bendiga siempre. "LOS AMO".

A mi hermana Areli para que este trabajo sea una motivación y pueda lograr a culminar los estudios a nivel licenciatura. (Lo que tu más anheles estudiar Lili y espero estar ahí para apoyarte).

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Director de Tesis el M. en Ing. Francisco Martín Mendoza Méndez por orientarme y darme sus buenos consejos y conocimientos para desarrollar este proyecto, ¡¡Mil gracias!!

A mis sinodales por su gran apoyo para la culminación de esta tesis en especial a la Ing. Dominga por su tiempo ofrecido en este trabajo y por impulsar el desarrollo de mi formación profesional.

A la Universidad Nacional Autónoma de México la mejor casa de Estudios de nuestro país, por brindarme educación de primer nivel y a mis compañeros de la FES Zaragoza que compartieron vivencias y experiencias durante nuestra estancia de la carrera.

A mi familia en general que siempre tienen un espacio en mis pensamientos y a todos aquellos que estuvieron presentes directa o indirectamente de lo que sucedió en mi etapa profesional. ¡Gracias a ustedes!





## TABLA DE CONTENIDO

Lista de tablas.....	5
Lista de graficas.....	6
Lista de figuras.....	7
Listado de abreviaturas.....	8
Resumen.....	10
Justificación.....	11
Introducción.....	12
Objetivos.....	15
Capitulo 1. Importancia de un diagnóstico energético.....	16
1.1 ¿Qué es un diagnóstico energético?.....	16
1.2 Tipos de diagnósticos energéticos.....	17
1.2.1 Diagnóstico Energético de Primer Nivel (DEN-1).....	17
1.2.2 Diagnóstico Energético de Segundo Nivel (DEN-2).....	19
1.2.3 Diagnóstico Energético de Tercer Nivel (DEN-3).....	21
1.3 ¿En qué consiste un diagnóstico energético?.....	21
1.3.1 ¿Qué hacer después de tener un diagnóstico energético?.....	21
1.4 Objetivos.....	22
1.5 Principales actividades a realizar en un diagnóstico energético.....	22
1.5.1 Planear los recursos y tiempo para su realización.....	22
1.5.2 Recopilar información (en el sitio).....	23
1.5.3 Realizar mediciones puntuales.....	23
1.5.4 Analizar los datos recabados.....	24
1.5.5 Cálculos preliminares.....	24



1.6 Análisis Energético.....	25
1.6.1 Indicadores energéticos.....	25
1.6.2 Información requerida para el análisis.....	25
1.6.3 Realización de Balances de Materia y Energía.....	26
1.7 El diagnóstico energético en la industria.....	27
1.7.1 Planificación del diagnóstico energético.....	27
1.7.2 Solicitud de información.....	28
1.8 Ventajas.....	29
1.8.1 Información que debe arrojar un diagnóstico energético.....	29
Capítulo 2. Aplicación a sistemas de cogeneración.....	30
2.1 ¿Qué es Cogeneración?.....	30
2.2 Esquemas generales de cogeneración.....	31
2.2.1 Diagrama de estructuración de energía.....	33
2.2.2 Significado del mapa energético.....	33
2.2.3 Ahorro en el consumo eléctrico.....	35
2.3 Generalidades para la selección del sistema.....	36
2.4 Parámetros de diseño y comportamiento.....	37
2.4.1 Relación Q/E.....	38
2.4.2 Índice de calor neto.....	40
2.5 Elementos de un sistema de cogeneración.....	41
2.5.1 Clasificación de los sistemas de cogeneración.....	41
2.6 Tipos y tecnologías de Cogeneración.....	43
2.6.1 Cogeneración con Turbina de Vapor.....	43
2.6.2 Cogeneración con Turbina de Gas.....	43
2.6.3 Cogeneración con ciclo combinado.....	43
2.6.4 Cogeneración con motor alternativo.....	44



2.6.5 Cogeneración con microturbinas.....	44
Capítulo 3. Sectores industriales nacionales en los que más se utiliza la cogeneración y tecnologías empleadas.....	45
3.1 Antecedentes.....	45
3.2 Potencial de cogeneración en México.....	45
3.2.1 Evolución de la capacidad instalada en cogeneración.....	46
3.3 Potencial de cogeneración en la industria.....	47
3.3.1 Situación operativa en el sector industrial.....	47
3.3.2 Metodología utilizada para la estimación del potencial.....	48
3.3.3 Configuración propuesta para cogeneración.....	48
3.4 Desarrollo de la cogeneración en México.....	49
3.5 Estado actual de la cogeneración en México.....	52
Capítulo 4. Bases para una evaluación de un sistema de cogeneración.....	57
4.1 Metodología para determinar la eficiencia de los sistemas de cogeneración.....	57
4.2 Criterio de eficiencia.....	58
4.2.1 Valores de referencia.....	59
4.3 Comparación de la metodología con las metodologías adoptadas por otros sistemas regulatorios.....	59
4.3.1 Criterio de eficiencias en otros países.....	60
4.4 Procedimientos de medición de variables para la evaluación de sistemas de cogeneración.....	60
4.4.1 Identificación del tipo de sistemas de cogeneración.....	60
4.4.2 Identificación de los límites de cada sistema de cogeneración.....	62
4.5 Variables identificadas para la evaluación de la eficiencia.....	64
4.6 Mejoras de eficiencia en sistemas de cogeneración.....	65
4.7 Análisis de un sistema de cogeneración.....	65
Capítulo 5. Beneficios de la cogeneración eficiente.....	68



5.1 ¿Qué es la cogeneración eficiente?.....	68
5.2 Tipos de beneficios que se obtienen de la cogeneración.....	68
5.3 Beneficios de la cogeneración eficiente.....	69
Conclusiones.....	71
Bibliografía.....	74
Fuentes electrónicas.....	76
Anexo 1 Permisarios de generación eléctrica.....	77
Anexo 2 Resumen ejecutivo “Estudio sobre cogeneración en el sector industrial en México.....	88
Anexo 3 Guía para elaborar un diagnóstico energético en instalaciones.....	94
Anexo 4 Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (Artículo 36).....	104
Anexo 5 Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (Artículo 103-106)..	108



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1: Relación Q / E para distintas tecnologías.....	39
Tabla 1.2: Eficiencias eléctricas y térmicas por tipo de cogeneración.....	44
Tabla 1.3: Potencial total nacional de cogeneración.....	45
Tabla 1.4: Desarrollo de proyectos de cogeneración.....	46
Tabla 1.5: Plantas de cogeneración, distribución sectorial.....	47
Tabla 1.6: Estimación del potencial de cogeneración.....	50
Tabla 1.7: Sectores participantes.....	53
Tabla 1.8: Energético primario.....	54
Tabla 1.9: Tecnologías empleadas.....	55
Tabla 1.10: Permisos de cogeneración por año.....	56
Tabla 1.11: Capacidad de generación del sistema.....	59
Tabla 1.12 Valores de referencia para el cálculo de la eficiencia.....	59
Tabla 1.13: Criterios de eficiencias por otros países.....	59
Tabla 1.14: Valores para el diseño óptimo de la planta de cogeneración.....	66
Tabla 1.15: Resultados para el diseño óptimo de la planta de cogeneración.....	67
Tabla 1.16: Resultados de la eficiencia de la planta de cogeneración.....	67
Tabla 1.17: Sectores participantes con mayor número de permisos.....	72



## LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1: Números de permisos de cogeneración otorgados por año.....	50
Grafica 2: Capacidad instalada por año.....	51
Grafica 3: Capacidad instalada en el Sistema Eléctrico Nacional.....	52
Grafica 4: Sectores participantes.....	53
Grafica 5: Energético primario.....	54
Grafica 6: Tipos de tecnologías empleadas.....	55
Grafica 7: Permisos de cogeneración por año.....	56
Grafica 8: Antigüedad de operación.....	71



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ingeniería y proyectos. Diagnósticos Energéticos.....	16
Figura 1.1: Balance global de energía térmica y energía eléctrica.....	26
Figura 1.2: Ejemplo de cuestionario básico.....	28
Figura 2: Sistema de cogeneración.....	30
Figura 2.1: Esquema de cogeneración contra sistema convencional.....	31
Figura 2.2: Esquema general de cogeneración.....	32
Figura 2.3: Mapa energético para un centro consumidor.....	34
Figura 2.4: Demandas caloríficas y eléctricas.....	36
Figura 2.5: Suministro de energéticos a usuarios sin un sistema de cogeneración.....	38
Figura 2.6: Relación Q/E para distintas tecnologías.....	39
Figura 2.7: Suministro de energéticos a usuarios con un sistema de cogeneración.....	40
Figura 2.8: Esquema de cogeneración.....	42
Figura 4: Forma universal para calcular la eficiencia.....	57
Figura 4.1: Cogeneración de energía eléctrica.....	61
Figura 4.2: Configuración para aprovechar gases calientes de procesos.....	61
Figura 4.3: Sistema de cogeneración con capacidad total instalada.....	62
Figura 4.4: Primera forma del límite del sistema.....	63
Figura 4.5: Segunda forma del límite del sistema.....	63
Figura 4.6: Tercera forma del límite del sistema.....	64
Figura 4.7: Estructura física de la planta de cogeneración.....	65
Figura 4.8: Estructura productiva de la planta de cogeneración.....	66



## LISTADO DE ABREVIATURAS

Barm	Unidad de presión medida en un manómetro
BTU	Unidad del sistema ingles
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CHP	Término inglés de cogeneración “Combined Heat and Power”
CONUEE	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía
CO	Monóxido de carbono producido por la combustión incompleta del carbono
CO <sub>2</sub>	Bióxido de Carbono producido por la combustión completa del carbono
CRE	Comisión Reguladora de Energía
DEN-1	Diagnóstico Energético de Primer Nivel
DEN-2	Diagnóstico Energético de Segundo Nivel
DEN-3	Diagnóstico Energético de Tercer Nivel
ICN	Índice de calor neto
KW	Kilowatt
KWe	Kilowatt eléctrico
KWh	Kilowatt hora
KWt	Kilowatt térmico
KV	Kilovolt
LSPEE	Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica
MW	Megawatt
MTD	Mejores Tecnologías Disponibles





---

PEMEX	Petróleos Mexicanos
SEN	Sistema Eléctrico Nacional



## RESUMEN

El propósito de la tesis que presento es identificar las oportunidades de ahorro de energía en sistemas de cogeneración a través de la evaluación de su eficiencia mediante la aplicación de un diagnóstico energético; ya que es fundamental conocer el comportamiento energético de los equipos y tecnologías para mejorar la eficiencia energética de los mismos.

Es por esto la importancia de un diagnóstico energético para proporcionar una evaluación completa de toda la parte energética tanto de equipos y sistemas auxiliares y así determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía en un sistema de cogeneración.

Se hace mención del estado actual de la cogeneración en México mediante un estudio realizado en Julio de 2012, el cual se tienen registrados 71 permisos bajo la modalidad de cogeneración destacando sectores industriales nacionales como petrolero, químico, petroquímico y papelerero; en consecuencia el país cuenta con un stock productivo con una antigüedad mayor a los 15 años de las tecnologías utilizadas a los sistemas de cogeneración.

Por lo anterior debería realizarse una pronta renovación de tecnología para que exista la oportunidad de mejorar la eficiencia de los equipos que están en operación; además de una notable reducción en las emisiones a la atmósfera.

Es importante que todos los sectores involucrados se realicen una evaluación en sus equipos mediante un diagnóstico energético y que los permisionarios interesados deseen su acreditación en su sistema como de cogeneración eficiente siempre y cuando cumplan con los criterios establecidos por la comisión mediante la metodología que incluye los aspectos generales de los sistemas con la finalidad de evaluar y determinar la eficiencia de los sistemas de cogeneración.



## JUSTIFICACIÓN

La cogeneración moderna es una tecnología que permite alcanzar los mayores índices de eficiencia energética y emisiones evitadas. En la mayor parte del sector industrial, la energía térmica y eléctrica son insumos indispensables.

Cuando estas dos formas de energía se requieren de manera conjunta en una instalación, se presenta la oportunidad de implantar sistemas de cogeneración, lo cual conlleva, de manera simultánea, una mayor eficiencia en el uso de combustibles fósiles y menor generación de emisiones contaminantes por unidad de energía útil.

Por todo esto en la actualidad es necesario encaminarnos hacia una generación más eficiente y más amigable con el medio ambiente, es ahí que debido a los incrementos que han sufrido los precios de la energía en los últimos años y a la falta de eficiencia de los procesos empieza ser atractiva la inversión en proyectos de ahorro de energía, con el fin de rediseñar equipos y procesos con base en criterios de optimización energética, así como en el aprovechamiento de calor de desecho y eliminación de pérdidas innecesarias, permitiendo lograr ahorros considerables a mediano y largo plazo. Entre los proyectos de inversión relacionados con uso más adecuado de la energía están los correspondientes a los sistemas de cogeneración.

El desarrollo de la cogeneración permitiría utilizar menos combustible para obtener la misma cantidad de energía en forma de calor y electricidad (prestaciones), con importantes beneficios adicionales, tanto ambientales como económicos.

En México se está dando una apertura en el mercado energético nacional en donde es posible implementar esta tecnología; entre sus funciones la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), cuenta con una área dedicada a promover la cogeneración, que busca identificar la posibilidad de introducir ahorros de energía en las industrias con potencial de cogeneración en el cual ofrecen a los interesados en desarrollar esta eficiente tecnología de generación secuencial de energía eléctrica y térmica, partiendo de una Guía de gestiones para implementar una planta de cogeneración en México de acuerdo con la normatividad vigente a la fecha.



## INTRODUCCIÓN

En los sistemas de cogeneración es importante conocer la eficiencia en el sistema así como el comportamiento energético del mismo y las oportunidades de mejora energética en sus equipos, es por esto que el propósito del presente trabajo es la identificación de estas oportunidades a través de la evaluación de su eficiencia energética mediante la aplicación del diagnóstico energético.

La presente tesis se estructura en cinco capítulos:

El primer capítulo habla sobre la importancia de un diagnóstico energético, mostrando en forma lo que es, en qué consiste y en una evaluación del uso eficiente de la energía por todo aquello se define que un diagnóstico energético es un instrumento importante para saber cuánto, cuándo, cómo, dónde y por qué se consume la energía, para esto se requiere de una inspección minuciosa de las instalaciones como de un análisis energético detallado y la forma que se utiliza para así determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía.

Existen tres tipos de diagnósticos energéticos el cual se han clasificado por niveles según su análisis: Diagnóstico Energético de Primer Nivel (DEN-1) donde se detectan las medidas de ahorro y cuya aplicación es inmediata, consiste en la inspección visual de las instalaciones y el análisis de consumo y gasto de la energía; el Diagnóstico Energético de Segundo Nivel (DEN-2) comprende la evaluación en áreas y equipos intensivos en su uso, se requiere de un análisis detallado de los registros y las condiciones de operación de los equipos; el Diagnóstico Energético de Tercer Nivel (DEN-3) consiste en el análisis profundo de las condiciones de operación y diseño de la instalación mediante el uso de equipos especializados de medición y control, con la participación de especialistas de cada área auxiliados por el personal de ingeniería.

Un diagnóstico energético consiste principalmente en proporcionar un análisis completo de toda la parte energética de la empresa ó dependencia tanto de equipos y aparatos como de sistemas auxiliares, así como los detalles de cada uno; su objetivo principal es determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía.

Dentro de un análisis energético se presenta información para desarrollar un estudio de viabilidad técnica para utilizar un sistema de cogeneración en una planta en específico, es imprescindible conocer cómo, cuánto y que tipo de energía se utiliza, por eso la importancia de hacer una evaluación de un diagnóstico energético.



En el segundo capítulo se describe la aplicación a sistemas de cogeneración, iniciando con la definición de la cogeneración que es la producción secuencial de energía eléctrica y/o mecánica y de energía térmica aprovechable en los procesos industriales a partir de una misma fuente primaria, los esquemas generales de la cogeneración y las generalidades para la selección de un sistema.

Los parámetros de diseño y comportamiento para establecer un sistema de cogeneración se consideran los siguientes aspectos: consumo o requerimiento de energía eléctrica, energía primaria y energía térmica.

Se muestran con detalle los tipos y tecnologías donde se pueden implementar estos sistemas como son: Cogeneración con turbina de vapor, cogeneración con turbina de gas, cogeneración con ciclo combinado, cogeneración con motor alternativo y cogeneración con microturbinas; así como los elementos que los componen como el elemento primario o promotor dentro del más importante y la clasificación de los sistemas de cogeneración que de acuerdo con el orden de producción de electricidad y energía térmica se pueden clasificarse en sistemas superiores o sistemas inferiores.

El tercer capítulo abarca los sectores industriales nacionales en los que más se utiliza la cogeneración y tecnologías empleadas, iniciando con el potencial y desarrollo de la cogeneración en nuestro país y los sectores involucrados. El último estimado del potencial de cogeneración en México fue en el año de 2007 destacando los sectores industriales, los ingenios azucareros y PEMEX como participantes estimando que el potencial nacional máximo de cogeneración es de 10,164 MW. Actualmente se ha visto una mejoría en la evolución de la capacidad instalada en cogeneración en nuestro país. El desarrollo de la cogeneración en México permite ubicar a PEMEX como el mayor cogenerador de nuestro país.

Así mismo se menciona el estado actual de la cogeneración en México sobre un estudio realizado hasta Julio del 2012 el cual se tienen registrados 71 permisos bajo la modalidad de cogeneración destacando el sector petrolero con mayor número de permisos seguido del sector químico, petroquímico y papelerero respectivamente; el energético empleado con mayor porcentaje fue el gas natural y el tipo de tecnología más empleado es la turbina de vapor con un 34% seguido de la turbina de gas con un 31% y por último un ciclo combinado con turbina de gas y turbina de vapor con el 10%.

El cuarto capítulo trata sobre las bases para una evaluación de un sistema de cogeneración, el cual se establece una metodología con la finalidad de evaluar la eficiencia de los sistemas de cogeneración.

Se aplica la metodología para determinar la eficiencia de los sistemas de cogeneración y se hace una comparación con las metodologías adoptadas por otros sistemas regulatorios adoptado en otros países.

La eficiencia de un sistema de cogeneración se determinara a través de tres variables: La energía térmica o calor útil, la energía eléctrica generada y el combustible empleado en el



proceso de la cogeneración y para la evaluación de un sistema las personas autorizadas deberán identificar el tipo de sistema.

Se hace énfasis en las mejoras de eficiencia en los sistemas de cogeneración, en lo que se refiere dicha eficiencia esta ligada a la modernización y/o sustitución de los equipos principales, se presenta un análisis de una planta de cogeneración y se muestra como se resuelve a través de una evaluación de eficiencia en el sistema.

Finalmente el último capítulo se incluye los beneficios de la cogeneración eficiente.

En los anexos se encuentran la lista completa de los 71 permisionarios bajo la modalidad de cogeneración así como el resumen ejecutivo del Estudio sobre cogeneración en el sector industrial en México, una guía para elaborar un diagnóstico energético en instalaciones y algunos artículos del reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE).



## OBJETIVOS

### General.

- Identificar las oportunidades de ahorro de energía en un sistema de cogeneración a través de la evaluación de su eficiencia energética mediante la aplicación de un diagnóstico energético.

### Particulares

- Identificar el consumo por usos finales de energía térmica y eléctrica en instalaciones
- Establecer el nivel de eficiencia de su utilización por equipos, aparatos, sistemas y procesos, en términos de índices energéticos
- Proponer las medidas de uso eficiente de la energía de forma integral
- Determinar los beneficios energéticos, económicos, ambientales, así como establecer la inversión requerida para su aplicación



## Capítulo 1. La importancia de un diagnóstico energético

### 1.1 ¿Qué es un diagnóstico energético?

Un diagnóstico energético es el instrumento imprescindible para saber cuánto, cuándo, cómo, dónde y por qué se consume la energía, así como la forma para establecer el grado de eficiencia en su utilización.

Las medidas que se identifiquen como resultado del diagnóstico energético, permitirán alcanzar ahorros significativos en el corto, mediano y largo plazos.

Por todo esto, se requiere, tanto de una inspección minuciosa de las instalaciones como de un análisis energético detallado de los consumos y la forma en que se utiliza la energía.



Figura 1. Ingeniería y Proyecto. Diagnósticos Energéticos. Adaptado del portal: [http://www.plantasdelluzmexico.mx/diagnosticos\\_energeticos\\_ahorro\\_de\\_energia.html](http://www.plantasdelluzmexico.mx/diagnosticos_energeticos_ahorro_de_energia.html)





## 1.2 Tipos de Diagnósticos Energéticos

Para facilitar el uso del diagnóstico energético se ha concebido una clasificación por niveles. El diagnóstico energético es la herramienta técnica utilizada para la evaluación sistemática del uso eficiente de la energía, definiendo la situación del consumo y las posibles oportunidades potenciales de ahorro. Existen básicamente tres tipos de diagnóstico según su nivel de análisis.

- Diagnósticos Energéticos de Primer Nivel (DEN-1)
- Diagnósticos Energéticos de Segundo Nivel (DEN-2)
- Diagnósticos Energéticos de Tercer Nivel (DEN-3)

### 1.2.1 Diagnóstico Energético de Primer Nivel (DEN-1)

Mediante los diagnósticos energéticos de primer nivel se detectan medidas de ahorro cuya aplicación es inmediata y con inversiones marginales.

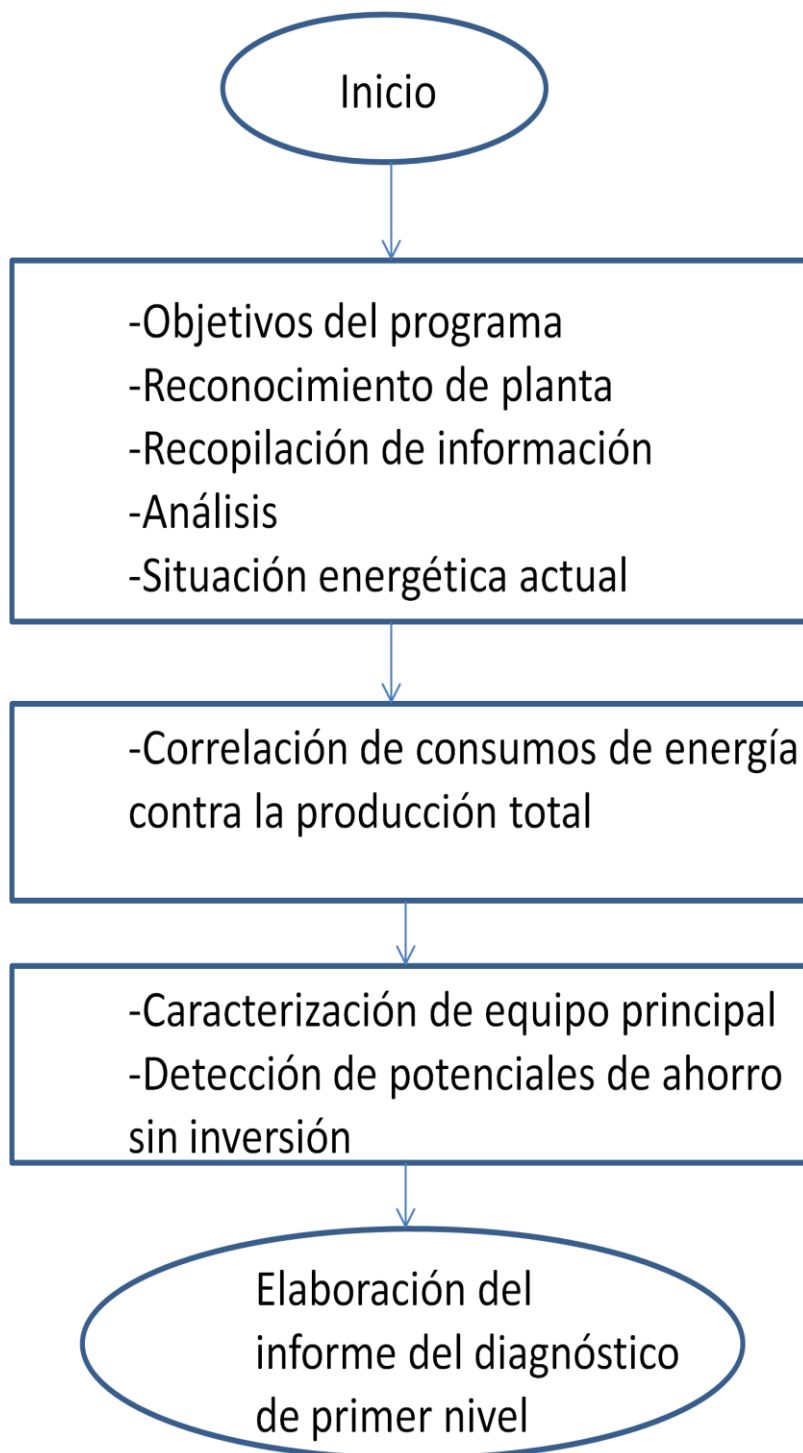
Consiste en la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones, el análisis de los registros de operación y mantenimiento que rutinariamente se lleva en cada instalación; así como el análisis de la información estadística de consumos y gastos por conceptos de energía eléctrica y combustibles.

Al realizar estos diagnósticos se deben considerar los detalles detectados visualmente y que se consideren como desperdicios de energía, tales como falta de aislamiento o purgas (salideros); así mismo, se deben detectar y cuantificar los costos y posibles ahorros producto de la administración de la demanda de energía eléctrica y de la corrección del factor de potencia. Cabe recalcar que en este tipo de estudio no se pretende efectuar un análisis exhaustivo del uso de la energía, sino precisar medidas de aplicación inmediata.

Su objetivo principal es la obtención de un balance global.



## Metodología del Diagnóstico de Primer Nivel (DEN-1)





### 1.2.2 Diagnóstico Energético de Segundo Nivel (DEN-2)

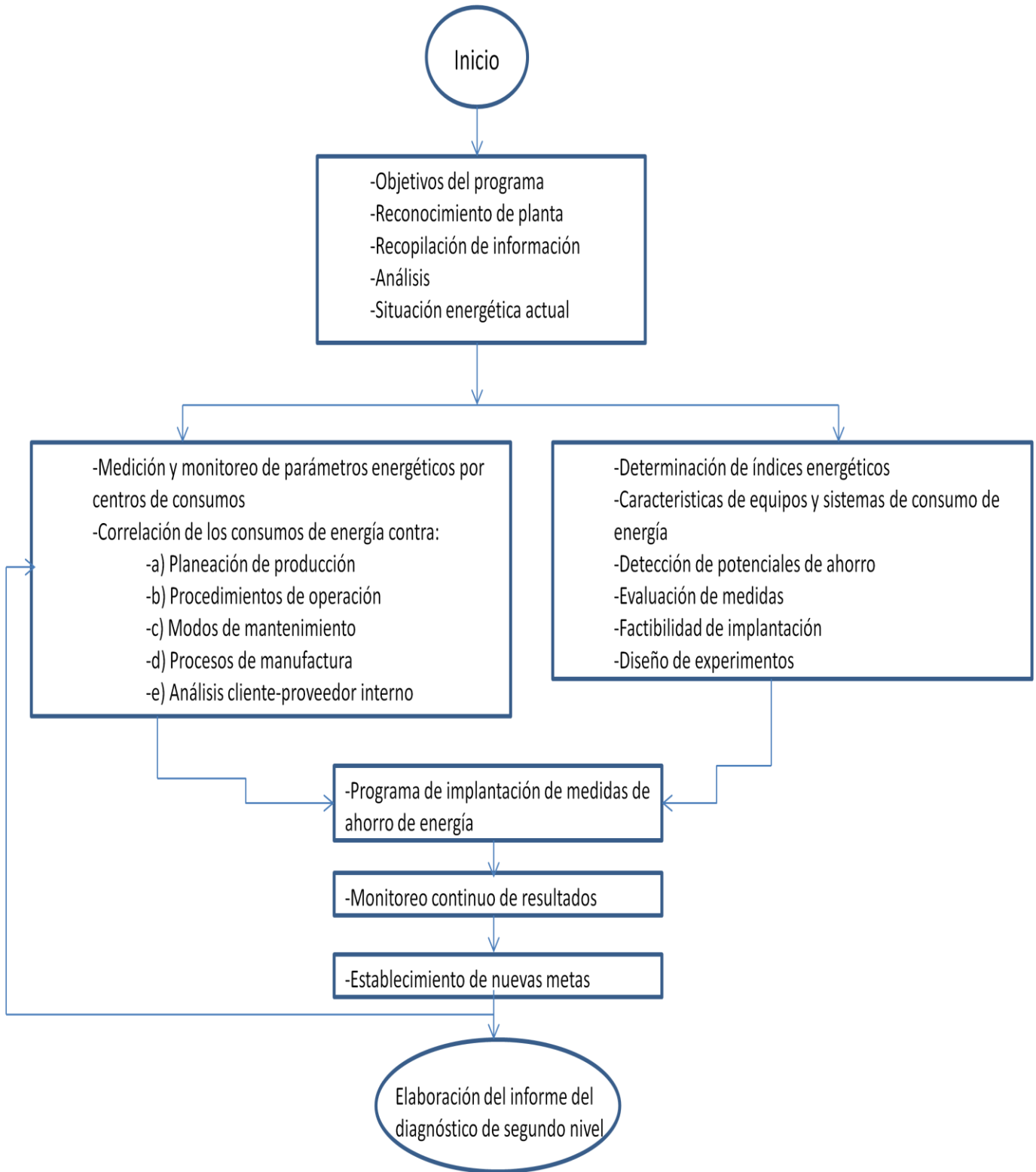
Comprende la evaluación de la eficiencia energética en áreas y equipos intensivos en su uso. Este tipo de diagnóstico requiere de un análisis detallado de los registros históricos de las condiciones de operación de los equipos, lo que incluye la información sobre los volúmenes manejados o procesados y los consumos específicos de energía. La información obtenida directamente de la operación se compara con la de diseño, para obtener las variaciones de la eficiencia.

El primer paso es detectar las desviaciones entre las condiciones de operación con las del diseño, para así jerarquizar el orden de análisis de cada equipo o proceso. El paso siguiente es conocer el flujo de energía, servicio o producto perdido por el equipo en estudio. Los balances de materia y energía, los planos unifilares actualizados, así como la disposición de los índices energéticos reales y de diseño complementan el diagnóstico, ya que permiten establecer claramente la distribución de la energía en las instalaciones, las pérdidas y desperdicios globales, y así determinar la eficiencia con la que es utilizada la energía. Finalmente, se deben evaluar, desde el punto de vista económico, las medidas que se recomienden llevar a cabo, tomando en consideración que éstas se deben pagar con los ahorros que se alcancen y que en ningún momento deben poner en riesgo la liquidez de la empresa.

Su objetivo principal es la obtención de balances específicos de energía, así como potenciales de ahorro de energía sin y con inversión, aplicados al proceso.



Metodología del Diagnóstico de Segundo Nivel (DEN-2)





### 1.2.3 Diagnóstico Energético de Tercer Nivel (DEN-3)

Consiste en un análisis exhaustivo de las condiciones de operación y las bases de diseño de una instalación, mediante el uso de equipos especializados de medición y control. Deben de realizarse con la participación de especialistas de cada área, auxiliados por el personal de ingeniería. En estos diagnósticos es común el uso de las técnicas de simulación de procesos. Además, facilitan la evaluación de los efectos de cambios de condiciones de operación y de modificaciones del consumo específico de energía, por lo que se requiere información completa de los flujos de materiales, combustibles, energía eléctrica, así como de las variables de presión, temperatura y las propiedades de las diferentes sustancias o corrientes.

Las recomendaciones derivadas de estos diagnósticos generalmente son de aplicación a mediano plazo e implican modificaciones a los equipos y procesos, e incluso de las tecnologías utilizadas. Debido a que las inversiones de estos diagnósticos son altas, la evaluación económica debe ser rigurosa en cuanto al período de recuperación de la inversión.

### 1.3 ¿En qué consiste un diagnóstico energético?

El diagnóstico energético es una herramienta técnica utilizada en la evaluación del uso eficiente de la energía.

El diagnóstico energético proporciona un análisis completo de toda la parte energética de la empresa o dependencia, tanto de equipos y aparatos como de sistemas auxiliares, así como los detalles operativos de cada uno de ellos y de manera integral.

#### 1.3.1 ¿Qué hacer después de tener un diagnóstico energético?

La empresa, dependencia o entidad deberá instrumentar un programa de ahorro, uso eficiente de la energía, seguimiento y control en sus instalaciones.

Para llegar a este objetivo, se emplean las siguientes metas:

- Levantamiento de información
- Análisis preliminar de datos de consumo, costos de energía y de producción, para mejorar el entendimiento de los factores que contribuyen a la variación de los índices energéticos de la planta.
- Identificar las áreas de oportunidad que ofrecen potencial de ahorro de energía.
- Determinar y evaluar económicamente los volúmenes de ahorro alcanzables y las medidas técnicamente aplicables para lograrlo y establecer objetivos definidos y claros de ahorro de energía.
- Analizar las relaciones entre los costos y beneficios de las diferentes determinaciones dentro del contexto financiero y gerencial de la empresa, para poder priorizar su implementación.
- Diseñar y aplicar sistemas particulares para el ahorro de energía en las diferentes áreas de uso.



- Desarrollar un plan de acción para la realización de todos los proyectos de ahorro de energía, incluyendo fechas, metas y responsabilidades; tal plan de acción permitirá dar continuidad al Programa de Ahorro de Energía de la empresa.
- Disminuir el consumo de energía, sin afectar los niveles de producción.

#### 1.4 Objetivos

El Objetivo de un diagnóstico energético es determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía.

Consiste en el análisis y estudio de todas las formas y fuentes de energía que utiliza una instalación industrial. Este análisis se hace de manera crítica en la instalación consumidora de energía, para así, establecer el punto de partida para la implementación y control de un programa de ahorro de energía.

El diagnóstico nos dará la información apropiada para establecer los planes y procedimientos adecuados para lograr las metas de ahorro y eficiencia.

El enfoque es saber y entender en donde se utiliza la energía eléctrica de una empresa y proponer las medidas necesarias para ahorrar y hacer uso eficiente de la energía.

El objetivo final es la identificación de medidas técnicas y administrativas que sean rentables para el ahorro de energía eléctrica.

#### 1.5 Principales actividades a realizar en un diagnóstico energético

Para llevar a cabo con éxito un diagnóstico energético se deben de realizar al menos las siguientes acciones:

- Planear los recursos y tiempo para su realización
- Recopilar información (en el sitio)
- Realizar mediciones puntuales
- Análisis de datos

##### 1.5.1 Planear los recursos y tiempo para su realización

- Revisión de la información de las condiciones de operación del diseño actualizado de los equipos consumidores de energía térmica y eléctrica
- Identificación y selección de la instrumentación que será utilizada en las mediciones, asegurándose que operen adecuadamente



### 1.5.2 Recopilar información (en el sitio)

#### Descripción del proceso

- Incluir un esquema de energéticos que muestre las corrientes de energía y los principales equipos, consumo, generación, porteo de energía
- Describir brevemente el proceso o servicio de la instalación, incluyendo todos los energéticos que se utiliza en el proceso: Gas natural, gas residual, gas LP, combustóleo, diesel, carbón, CO, etc.
- Incluir los casos de operación que pueden influir en la eficiencia energética de la planta

#### Situación energética

- Incluir en una tabla, la lista de los energéticos empleados, incluyendo energéticos residuales
- Incluir una lista los productos / servicio que se tiene en la planta y su producción

### 1.5.3 Realizar mediciones puntuales

El objetivo del trabajo de campo es obtener datos e información operacional de los equipos y sistemas en la investigación detallada de la operación de los mayores consumidores de energía en la planta. El trabajo consta, principalmente, de tres partes: entrevistas, inspección y mediciones.

Los pasos a dar durante la visita a un establecimiento para la realización de un diagnóstico energético son las siguientes:

- Se deberán realizar mediciones que permitan conocer los consumos de energía térmica y electricidad de la instalación
- Para el análisis de las mediciones, deberán contar con equipo adecuado para la medición de los siguientes parámetros:
  - Consumo de energía térmica y eléctrica de los equipos consumidores de energía
  - Comprobar la operación de equipos importantes, logrando una mejor base para las estimaciones de ahorros potenciales y proporcionando una idea objetiva de la eficiencia de la planta
- Comprobar que se lleven todos los equipos de medición necesarios para la visita y que éstos funcionen correctamente.
- Realización de las mediciones
- Fijar un orden de trabajo
- En cada caso particular



- Decidir los puntos necesarios y suficientes en los que se van a efectuar mediciones
- Dar instrucciones oportunas al personal de fábrica para que realice el trabajo necesario (conexión de equipos de medición, etc.)
- Calibrar y/o constatar equipos de medición
- Realizar mediciones
- Recopilación de datos complementarios
- Repaso del inventario de equipos de medición utilizados

#### 1.5.4 Analizar los datos recabados

El objetivo de este paso es la preparación de todo lo necesario para la visita a fábrica y asegurar que todo esté a punto para el trabajo de campo.

Los siguientes son algunos aspectos importantes a revisar por los auditores.

- Definición, en función de la información obtenida, de un conjunto de medidas de ahorro de energía
- Determinación de los potenciales de ahorro energético, ambiental y económico
- Análisis de los datos recibidos
- Estudio del proceso productivo
- Recopilación de la información sobre el equipamiento del proceso productivo

#### 1.5.5 Cálculos preliminares

Todas las actividades descritas en los pasos anteriores deberían conducir a la identificación de oportunidades y medidas para el ahorro de energía. Las oportunidades de ahorro de energía se identifican basándose en la experiencia de los auditores, antecedentes, referencias bibliográficas, etc., y siempre, a través del análisis detallado de los sistemas de la instalación en particular.

Para cada oportunidad detectada se deben identificar las medidas necesarias para aprovecharla, calculando su rentabilidad basándose en el costo de realización y ahorros esperados.





## 1.6 Análisis Energético

### 1.6.1 Indicadores energéticos

En las labores energéticas dentro de una empresa, uno de los primeros pasos que generalmente se debe llevar a cabo es la conformación de una base de datos compuesta básicamente por cifras sobre producción y consumos de energía; es parte de la necesidad de conocer con mayor precisión la eficiencia energética con la que opera la empresa y se hace indispensable relacionar el consumo de energía con la producción, en un mismo periodo de tiempo, el cual casi siempre es mensual en virtud de que la facturación energética así se presenta. Es indudable que para una primera aproximación en la determinación de las eficiencias, esta relación es de suma utilidad, pero es necesario sacarle el mayor provecho como herramienta de análisis. La ejecución de varios diagnósticos energéticos en distintas empresas altamente consumidoras de energía, ha dado la oportunidad de aplicar este análisis utilizando datos reales, obteniendo resultados ilustrativos sobre sus ventajas dentro de un proceso de gestión energética.

### 1.6.2 Información requerida para el análisis

Para desarrollar un análisis de viabilidad técnica y económica de la conveniencia de utilizar un sistema de cogeneración en una planta en específico, es necesario conocer cómo, cuánto y qué tipo de energía utiliza.

La información particular de las características energéticas del sitio, en donde se planea instalar el sistema de cogeneración, incluye los consumos y demandas de vapor, agua caliente, energía eléctrica; los combustibles usados en la planta, los equipos existentes (calderas, turbinas, etc.). Es también necesario contar con la información de los precios y costos de los combustibles y de la electricidad. Para completar el estudio se requiere también la información de las horas de operación de la planta, conocer los planes de crecimiento, tener claros los criterios aplicados de rentabilidad y las oportunidades de financiamiento así como, de las oportunidades de comercializar excedentes eléctricos.

Debido a que una planta de cogeneración es una oportunidad relativamente cara de conservación de energía, se debe de abordar después de asegurar la eficiencia energética de la planta o proceso a donde va a servir, desarrollando medidas de baja inversión, derivadas de un diagnóstico energético. Si se pierden cantidades importantes de la energía térmica en fugas de vapor, o en aislamientos deficientes de las líneas que la conducen, etc., estos problemas se deben de corregir antes de evaluar la carga térmica a considerar en el sistema de cogeneración.

La viabilidad técnica, de un proyecto de este tipo, se basa en la compatibilidad entre el sistema de cogeneración y los sistemas electromecánicos de la planta, la determinación de la disponibilidad del espacio para su instalación y de un análisis para ver si los sistemas existentes son los adecuados. Dentro de los datos requeridos para hacer esta determinación, en un estudio de previabilidad, se deben de tener los balances de energía térmica y eléctrica, los cuales muestran como se está usando la energía, por lo menos en las cargas principales que



lleguen a representar el 85% del consumo. Una buena fuente de esta información es a partir de la facturación energética y se deben de complementar con los diagramas unifilares de ambos tipos de energía, en donde se compruebe el balance entre la energía comprada o generada con los equipos consumidores. Cuando sea posible, es conveniente contar con una caracterización confiable de las variaciones diarias y estacionales de los perfiles de uso de la energía de los consumidores finales, de los sistemas que se consideran que estén dentro del sistema de cogeneración.

### 1.6.3 Realización de Balances de Materia y Energía

En este paso se hace el balance de materia y energía de todos los elementos estudiados tanto del área térmica como del área eléctrica, además, fluidos energéticos empleados en los procesos como: agua y combustibles. Esta información debe permitir entender la operación y la eficiencia de la instalación y compararla con otras similares. Esta misma información es la que sirve de base de todos los cálculos de ahorro y de inversión. Un ejemplo típico de un balance de materia y energía se presenta a continuación.

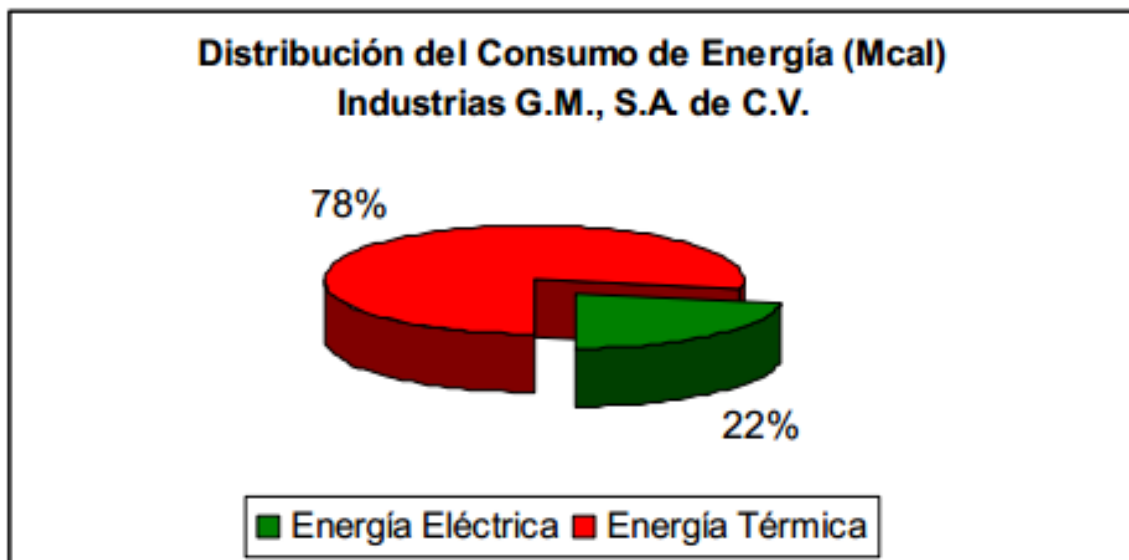


Figura 1.1 Balance global de energía térmica y energía eléctrica. Adaptado de: Curso básico de ahorro de energía eléctrica



## 1.7 El Diagnóstico Energético en la industria

### 1.7.1 Planificación del diagnóstico energético

Este primer paso tiene lugar antes de las visitas de campo y se realiza en la oficina. Su objetivo es asegurar que el equipo está bien preparado y organizado, para poder maximizar el aprovechamiento del tiempo que se invierta en la realización del diagnóstico energético. Se deberán revisar todos los antecedentes y juntar toda la información disponible sobre la instalación, para poder hacer una planificación adecuada del trabajo.

Dentro de esta información puede incluirse:

- Una copia de posibles diagnósticos energéticos realizados anteriormente
- Información general sobre la instalación, tamaño de la planta, tipos de línea de producción y productos principales, consumos energéticos anuales, costos de combustibles y tarifas eléctricas aplicables, etc.
- Información de comunicaciones con el personal de la planta y actas de las reuniones mantenidas
- El contrato con la planta para la realización del diagnóstico energético y sus requerimientos
- El personal técnico (auditores) disponible y su experiencia
- Capacidad y disponibilidad del personal que opera las instalaciones

El resultado de la revisión y evaluación de toda esta información debería de conducir a un plan de trabajo, incluyendo el cronograma, para la ejecución del diagnóstico energético.

Este plan incluirá los alcances del diagnóstico energético en la planta, la identificación de las tareas a realizarse con los expertos responsables de cada una de ellas, y el tiempo y presupuesto que se debe aplicar a cada tarea. Así mismo, se debe identificar la posible instrumentación que será utilizada para obtener datos durante el mismo y asegurarse de su estado, a fin de tomar las medidas necesarias para que esté en condiciones adecuadas en el momento en que se requiera su utilización.



### 1.7.2 Solicitud de información

Si no se ha llevado a cabo con anterioridad algún tipo de diagnóstico energético se deberá entregar al cliente, para su llenado, un cuestionario básico que contenga en otras cosas, consumo de energía correspondientes a los últimos 12 meses de operación; producción correspondiente durante esos mismos 12 meses así como sus diferentes productos, estructura administrativa de la planta, tipos de líneas de producción, propiedades y consumos de materias primas, horarios típicos de operación de la planta, etc.

<b>1.- DATOS GENERALES.</b>			
Nombre de la empresa:			
Rama Industrial:			
Productos Principales:			
Año de Inicio de Actividades:		m <sup>2</sup> construcción:	m <sup>2</sup> terreno:
<b>2.- UBICACION.</b>			
	Cooperativo y Oficinas	Planta	
Calle:			
Colonia:			
Localidad:			
Municipio y Estado:			
C.P.:			
Teléfono:			
Fax:			
Altitud MSNM:			
<b>3.- TIEMPO DE OPERACIONES Y PERSONAL.</b>			
Regimen de operación:	Continuo	Por temporada	
Días por semana:	Número de turnos:		
Horarios de operación:			
Horas de operación por año	Teóricas:	Reales:	
Número de empleados:	Número de obreros:		
<b>4.- MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS PRINCIPALES.</b>			
Materia Prima	Consumo Anual	Producto	Producción Anual
<b>5.- CONSUMOS ENERGETICOS, CONSUMO ANUAL.</b>			
Electricidad:	kW h	Demanda Máxima:	kW
Gas Natural:	Combustóleo:	Diesel:	
Gas L.P.:	Gasoleo:	Agua:	Otros:
<b>6.- PERSONAL RELACIONADO CON EL DENI.</b>			
Nombre:		Cargo:	
Gerente del DENI:		Responsable de la Información:	

Figura 1.2 Ejemplo de cuestionario básico. Adaptado de: Curso básico de ahorro de energía eléctrica

Si ya se ha efectuado algún diagnóstico energético previo no será necesario el envío del cuestionario. Sin embargo es absolutamente necesario que todos los datos existentes se revisen y comprueben con el personal adecuado de la fábrica.



## 1.8 Ventajas

¿Cuáles son los beneficios de un diagnóstico energético?

Cuando se realiza un diagnóstico energético se cuenta con la información para:

- Conocer el comportamiento y uso de la energía
- Evaluar cuantitativa y cualitativamente la energía que se consume
- Detectar áreas de oportunidad de ahorro y uso eficiente de energía
- Analizar de manera detallada las instalaciones, a fin de estructurar propuestas técnicas viables, para ahorrar energía en los diversos sistemas eléctricos y térmicos
- Establecer acciones y medidas de ahorro
- Establecer la inversión requerida para la aplicación de las medidas de ahorro
- Determinación de beneficios energéticos, ambientales y económicos

### 1.8.1 Información que debe arrojar un diagnóstico energético

Al término del diagnóstico energético, deberá de contar con un informe que le proporcione al menos la siguiente información:

#### Potencial de Ahorro

Incluir el potencial de ahorro de energía de la instalación, separado por sistema: térmico y eléctrico. El potencial de ahorro de energía debe de considerar la operación de la planta como: Paros programados, paros no programados, producción, mantenimiento, catalizadores, etc.

#### Medidas de ahorro

Describir por equipo cada medida de ahorro de energía, incluyendo:

- Ahorro de energético
- Eficiencia posterior a equipo
- Beneficio costo

#### Plan de trabajo y plan de acción

Estrategia de implementación de medidas

## Capítulo 2. Aplicación a Sistemas de Cogeneración

### 2.1 ¿Qué es Cogeneración?

La cogeneración se define como la producción secuencial de energía eléctrica y/o mecánica y de energía térmica aprovechable en los procesos industriales a partir de una misma fuente de energía primaria, y es hoy, una alternativa como método de conservación de energía para la industria, acorde con las políticas de globalización económica regional y a la política internacional orientada a lograr un desarrollo sustentable.

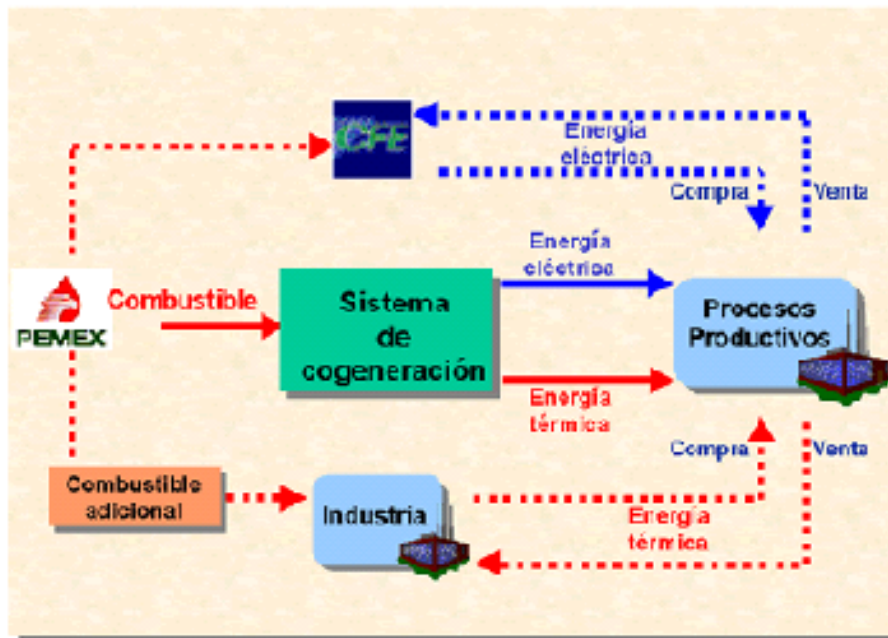


Figura 2. Sistema de cogeneración. Pagina principal de cogeneración Adaptado del portal : [http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_312\\_que\\_es\\_cogeneracion](http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA_312_que_es_cogeneracion)

La mayoría de los procesos industriales y aplicaciones comerciales, requieren de vapor y calor a baja temperatura. Así ellos pueden combinar la producción de electricidad y calor para los procesos, aprovechando la energía que de otra forma se desearía, como ocurre en las centrales termoeléctricas convencionales; a esta forma de aprovechar el calor de desecho se le conoce como cogeneración. Véase figura 2

La cogeneración no es un proceso nuevo, su aplicación data de los principios de este siglo, la encontramos en los ingenios azucareros, en las plantas de papel, siderúrgicas y en otros procesos. Sin embargo, su aplicación no obedecía, como lo es ahora, a la necesidad de ahorrar energía, sino al propósito de asegurar el abasto de la energía eléctrica, que en esos años era insuficiente y no confiable. Conforme las redes eléctricas se extendieron (subsidiando en no pocas ocasiones el precio de la electricidad) y el suministro de energía eléctrica se hizo más confiable, resultaba más barato abastecerse de este fluido de la red pública. Así, los proyectos de cogeneración poco a poco se fueron abandonando. Más tarde, debido al incremento en el costo de la energía eléctrica, la problemática ambiental y al desarrollo tecnológico de los equipos, la cogeneración vuelve a ser rentable y por ello renace, principalmente, en el ámbito industrial.

### 2.2 Esquemas generales de cogeneración

En los sistemas de cogeneración el combustible empleado para generar la energía eléctrica y térmica es mucho menor a la utilizada en los sistemas convencionales de generación de energía eléctrica y térmica por separado, es decir, que de un 100% de energía contenida en el combustible, en una termoeléctrica convencional sólo 33% se convierte en energía eléctrica, el resto, se pierde a través del condensador, los gases de escape, las pérdidas mecánicas y las pérdidas eléctricas por transmisión y distribución entre otras. En los sistemas de cogeneración se aprovecha hasta un 84% de la energía contenida en el combustible para la generación de energía eléctrica y calor al proceso (25-30% eléctrico y 59-54% térmico). Lo anterior se puede observar en el siguiente esquema:

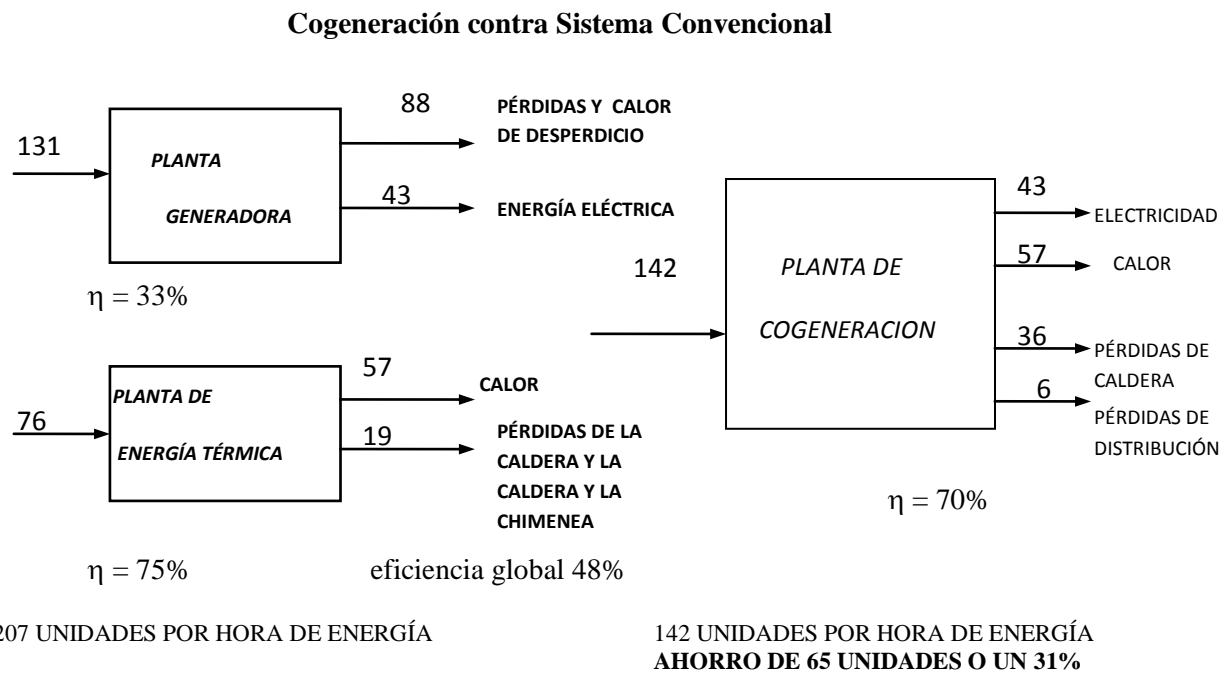


Figura 2.1 Esquema de cogeneración contra sistema convencional. Adaptado de: “Metodología para el análisis de previabilidad en los sistemas de cogeneración” México 2009. CONAE



Este proceso permite que el combustible que se agregue a un proceso, para generar energía eléctrica por cogeneración, sea mucho menor que el usado en las plantas convencionales de generación de energía eléctrica para la misma generación.

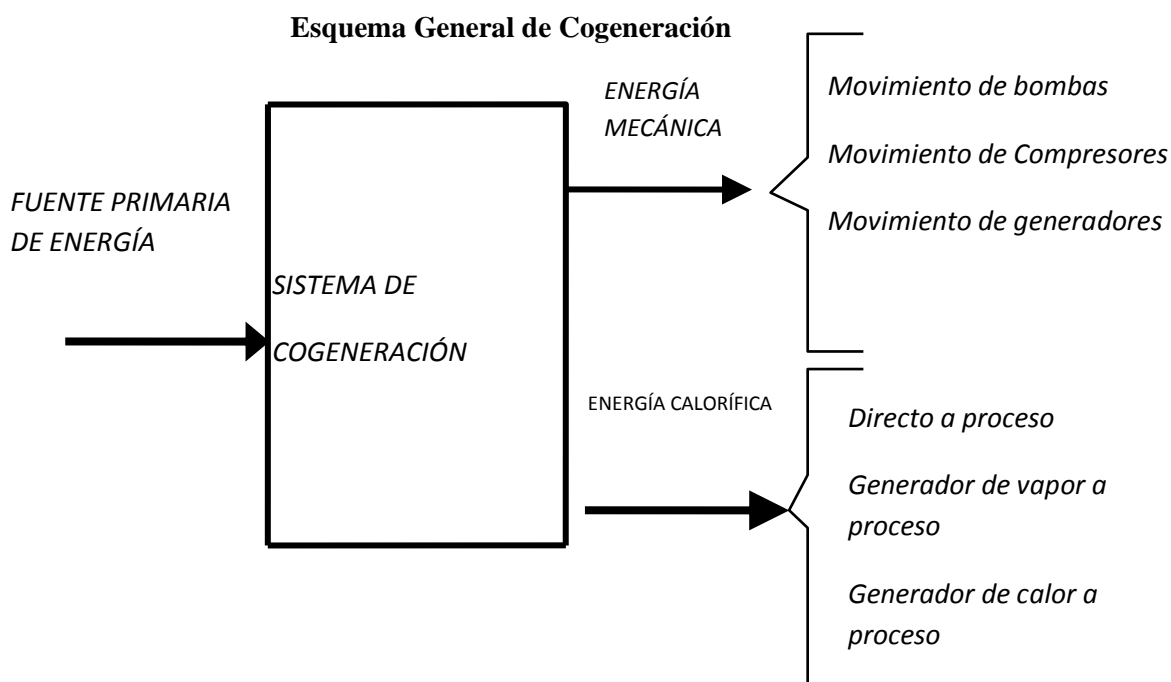


Figura 2.2 Esquema general de cogeneración. Adaptado de: “Metodología para el análisis de previabilidad en los sistemas de cogeneración” México 2009. CONAE

En la figura 2.2 se muestra esquemáticamente la definición de Cogeneración

La cogeneración moderna es un sistema tecnológico que incorpora diferentes principios, entre ellos la competitividad y la disminución de emisiones contaminantes; los cuales están contemplados en las políticas de globalización económica regional, así como la política internacional orientada a lograr un desarrollo sustentable.

El propósito principal de la cogeneración es lograr un mejor aprovechamiento de los combustibles primarios, razón por la cual se considera en los programas de ahorro de energía como una alternativa fundamental.

En términos generales, los beneficios potenciales de la cogeneración industrial son ampliamente reconocidos. Estos se pueden enfocar de diferente manera, desde el punto de vista de los intereses nacionales incluyen entre otros:

**Ahorros de energía primaria.** Incrementando la capacidad de cogeneración en la industria, puede ayudar a reducir el consumo de combustibles que actualmente se usan en las plantas de generación de potencia. Se estima que con la instalación de una capacidad de 4,200 kW, en un período de 10 años, se podría lograr un ahorro acumulado, equivalente a 325 millones de barriles de petróleo crudo.





**Incremento de la eficiencia de distribución.** Las pérdidas por transformación y distribución disminuyen al tener a los sistemas generadores ubicados en los centros de consumo. Con la misma base anterior se estiman ahorros de 1.3 TWh anuales.

**Difiere inversiones requeridas en ampliar la capacidad instalada en el país.** Con los sistemas de cogeneración industrial se disminuye el crecimiento de la demanda, por lo que el crecimiento de la oferta se puede realizar más lentamente, lo que implica disminuir la velocidad de construcción de nuevas plantas generadoras.

**Reduce emisiones globales.** Al disminuir globalmente el uso de energía primaria, produce que las emisiones derivadas de la combustión de combustibles fósiles disminuya, con el consiguiente beneficio.

### 2.2.1 Diagrama de estructuración de energía (Mapa energético del centro consumidor)

Se define como centro consumidor a la industria o empresa que tiene una demanda eléctrica y térmica para realizar su producción y que es apta para un estudio de previabilidad de cogeneración. Se caracteriza por tener dos tipos de demanda energéticas globales: un consumo eléctrico y una demanda de calor útil, ambos para satisfacer las necesidades de producción.

### 2.2.2 Significado del mapa energético

Con base a la figura 2.3 donde se tiene representado la situación del centro consumidor en un punto en el cual se informa de la necesidad de energía eléctrica y de calor útil para el proceso productivo.

Este mapa energético incluye dos rectas que contienen los puntos indicados como A y D, y como B y C. Estas dos rectas corresponden a dos tecnologías de cogeneración con relación E/C (relación de energía eléctrica y calor útil), mayor y menor que el centro consumidor respectivamente.

Los puntos anteriormente citados pueden resultar puntos de funcionamiento de la planta de cogeneración.

Punto A: Requerimiento de sistema auxiliar de generación de calor útil

El sistema que satisface la demanda eléctrica del centro, pero no llega a producir la energía térmica requerida, con lo que se precisa obtener la diferencia mediante un sistema auxiliar.



Los sistemas auxiliares más comunes son:

Realizar un consumo extra de combustible aprovechando el contenido de oxígeno de los gases procedentes de la combustión, para así elevar la temperatura de éstos y poder tener un potencial energético mayor, para la producción de calor útil.

O bien, producir la energía necesaria mediante un sistema convencional de producción como puede ser una caldera.

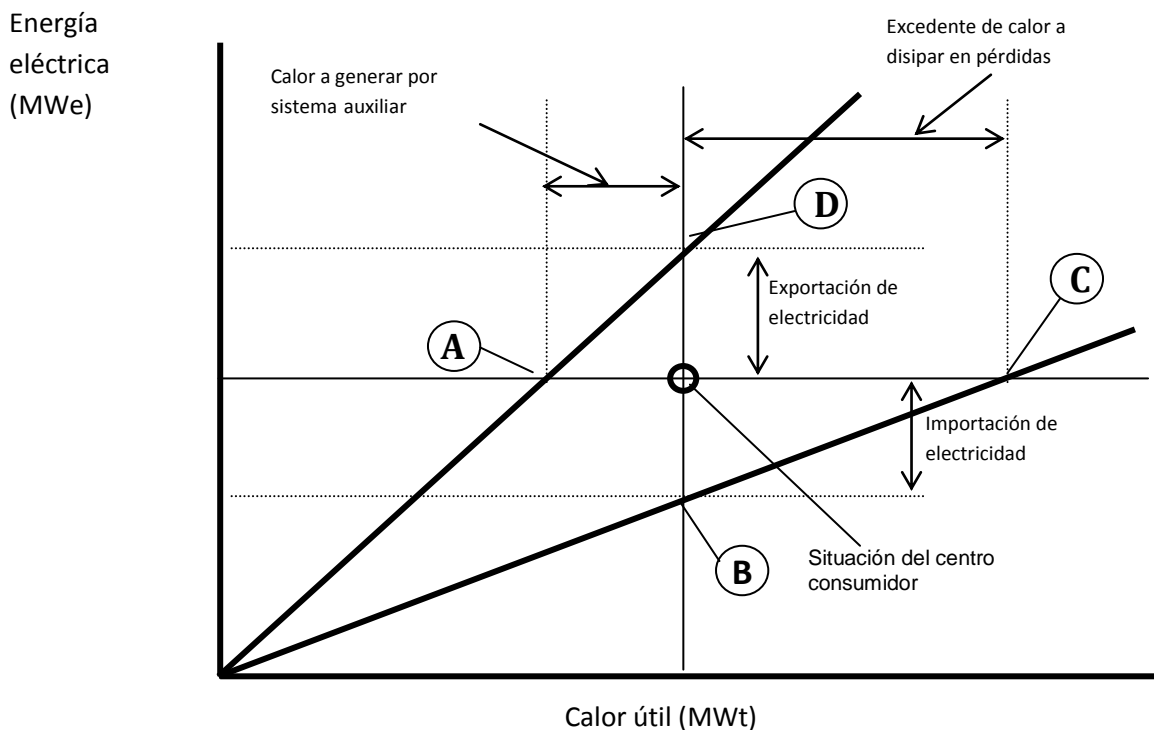


Figura 2.3 Mapa energético para un centro consumidor Adaptado de: “Metodología para el análisis de previabilidad en los sistemas de cogeneración” México 2009. CONAE

Punto B: Importación de electricidad

Situación de la planta de cogeneración en la que se satisface la demanda térmica del centro pero se necesita comprar electricidad de la red, ya que el sistema implementado no produce la suficiente.



Punto C: Desperdicio de energía térmica

Es el caso más indeseable ya que, aunque la demanda eléctrica esta completa, se produce mayor calor útil que lo que el centro consumidor demanda, por lo que resulta que, si no se vende esta energía térmica (situación actualmente inviable), resulta una pérdida de energía.

Punto D: Exportación de electricidad

Este es el caso en que se obtiene el calor útil o energía térmica necesaria para el centro consumidor, pero se produce una cantidad de electricidad mayor a la demandada, con lo que se puede vender electricidad a la red.

El análisis de estos cuatro puntos permite conocer la información que nos proporciona el mapa energético ya que, por ejemplo, se podría tener un esquema cogenerativo en la recta de relación E/C mayor que la del centro, siendo el punto de funcionamiento un punto entre A y D perteneciente a dicha recta. Resultaría que se satisface la demanda eléctrica, habiendo un exceso de producción que se puede verter a la red, pero en cambio no se produciría el suficiente calor útil, con lo que sería necesario un sistema auxiliar que lo proporcionase.

En este punto de la explicación ya se tiene uno de los criterios de dimensionamiento de la configuración o sistema de la tecnología de cogeneración elegida: se dimensionará teniendo en cuenta de no elegir un punto de funcionamiento en el que se sobrepase la demanda de calor útil por parte del centro consumidor. Siendo este criterio la base para el dimensionamiento según cada uno de los dos criterios que se presentan.

De todos los casos excepto el C, son viables pudiendo obtenerse puntos de funcionamiento del sistema de cogeneración de la zona izquierda del valor de demanda de calor útil del centro.

### 2.2.3 Ahorro en el consumo eléctrico

Conociendo los valores de las cargas a las que se puede aproximar la operación de cada esquema de cogeneración para un año, se determina la energía eléctrica que el sistema puede proporcionar durante cada uno de los períodos en que se dividió el año, así como también el consumo de combustible adicional que se requiere para la generación eléctrica.

Con los resultados de los análisis de comportamiento a diferentes cargas es posible conocer la relación Q/E y el ICN que cada sistema de cogeneración presentaría al operar a cada carga media corregida, seleccionando aquellos valores, producto de los mencionados análisis, correspondientes a una carga igual o similar a la de cada período en consideración.



### 2.3 Generalidades para la selección del sistema

La aplicación correcta de cada sistema de cogeneración dependerá principalmente de la relación de energía térmica/eléctrica, del tiempo de operación anual de los procesos a los que se aplique y la variación de la demanda eléctrica, entre otras.

Los sistemas de cogeneración se deben diseñar para abastecer la totalidad de la demanda térmica (Punto C de la figura 2.4), ya que este esquema es el que arroja la mayor eficiencia energética del sistema, aunque en algunos casos se dimensionan con el objetivo de satisfacer la demanda eléctrica, e inclusive una combinación de las anteriores.

También dichos sistemas se pueden diseñar teóricamente a la medida exacta de cada empresa para cubrir los requerimientos de la demanda térmica y eléctrica que puede necesitar una instalación, sin embargo, los equipos disponibles en el mercado, normalmente no corresponden con dichas necesidades y siempre se tiene una generación mayor o menor de uno de estos energéticos, presentándose cuatro alternativas:

- Cumplir con la energía eléctrica y requerir post-combustión para alcanzar el requerimiento de energía térmica.
- Cumplir con la energía eléctrica y tener que condensar o vender excedentes térmicos.
- Cumplir con la energía térmica y tener excedentes de energía eléctrica
- Cumplir con la energía térmica y tener que comprar faltantes de energía eléctrica

El diseño más eficiente como se mencionó antes, desde el punto de vista energético, corresponde a aquel que satisface ciento por ciento los requerimientos térmicos de las instalaciones de que se trate, pudiendo vender los excedentes eléctricos a la red o comprando de ésta los faltantes si fuera el caso. En México estas alternativas están contempladas en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y en su Reglamento.

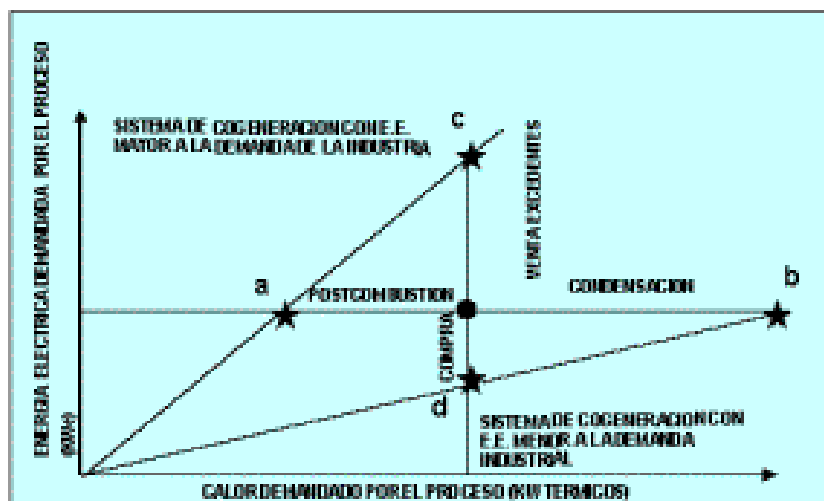


Figura 2.4 Demandas caloríficas y eléctricas. Adaptado del portal: [http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_572\\_generalidades\\_para\\_l](http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA_572_generalidades_para_l)



## 2.4 Parámetros de diseño y comportamiento

Para establecer un sistema de cogeneración en una planta industrial se requiere considerar los siguientes aspectos:

1. Consumo o requerimiento de energía eléctrica (E) expresado en kilowatts. La empresa industrial que quiera instalar un sistema de cogeneración debe requerir y consumir energía eléctrica. En México la energía eléctrica se abastece a los usuarios por Comisión Federal de Electricidad (CFE).
2. Consumo o requerimiento de energía primaria (Qs) expresado en metro cúbico, kilogramos, o directamente en kilowatts térmicos. La empresa industrial que quiera instalar un sistema de cogeneración debe requerir y consumir energía primaria para generar energía térmica útil. Normalmente ésta la provee un combustible como el gas natural, combustóleo o diesel, entre otros. Estos combustibles son proporcionados a los usuarios por Petróleos Mexicanos (PEMEX) o alguno de sus distribuidores.
3. Consumo o requerimiento de energía térmica útil (Q = Qu) expresado generalmente en términos de kW térmicos. La empresa industrial que quiera instalar un sistema de cogeneración debe requerir y consumir energía térmica útil para la elaboración de sus productos bienes o servicios, por lo regular en forma de un fluido caliente, ya sea vapor o gases calientes. Esta energía térmica útil es autogenerada por las empresas industriales en el seno de su empresa a través de equipos de combustión (calderas o calentadores a fuego directo).

Esta energía térmica se relaciona directamente con el combustible suministrado (Qs) con la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_s} = \frac{m_v \times (h_v - h_a)}{PCI \times m_c}$$

Donde:

$\eta$  = Eficiencia de generación de la caldera (%)

$Q_u$  = Calor útil proporcionado por el vapor generado (kJ)

$Q_s$  = Calor suministrado por el combustible quemado (kJ)

$m_v$  = Flujo de vapor (kg/h)

$h_v$  = Entalpía de vapor (kJ/kg)

$h_a$  = Entalpía de agua de alimentación (kJ/kg)

PCI = Poder calorífico del combustible (kJ/m<sup>3</sup>)

$m_c$  = Flujo de combustible (m<sup>3</sup>/h)

En la siguiente figura 2.5 se representa los tres requerimientos antes descritos que son requisitos para instalar un sistema de cogeneración

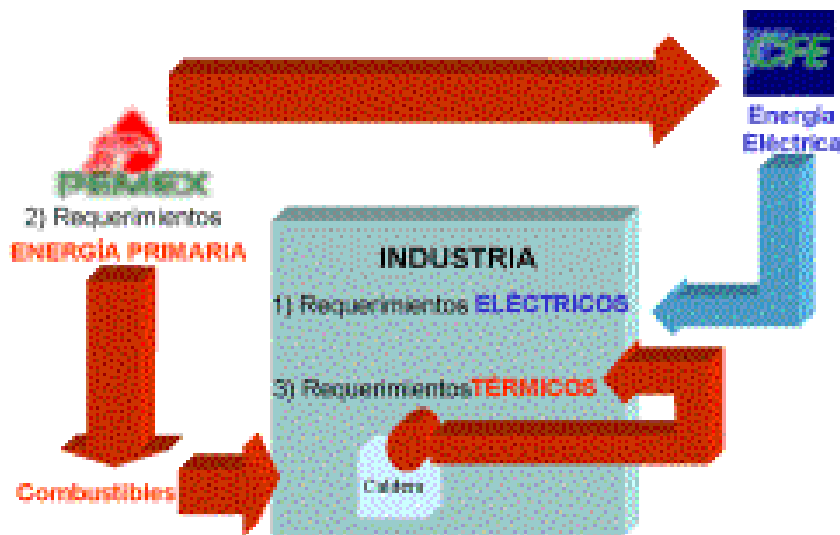


Figura 2.5 Suministro de energéticos a usuarios sin un sistema de cogeneración. Adaptado del portal:

[http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_573\\_parametros\\_de\\_diseno](http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA_573_parametros_de_diseno)

#### 2.4.1 Relación Q/E

La relación de la demanda eléctrica (E) a la térmica (Q) permite visualizar la simultaneidad con que ocurren las demandas, pudiendo mostrar los siguientes dos posibles tipos de comportamiento.

1. Uniformidad.
2. Variaciones y valores máximos y mínimos.

Por ejemplo, si  $Q/E > 0.5$ , se trata de empresas o usuarios consumidores de energía eléctrica, tales como grandes talleres electromecánicos, comerciales y de servicios. Si  $Q/E < 0.1$ , se trata de empresas o usuarios consumidores de calor como fábricas de cemento, cales, cerámicas, etc. Cuando esta relación tenga un valor unitario o cercano a la unidad, se trata de empresas o industrias de consumo equilibrado, como fábricas de papel, industria química, petroquímica alimentaria y textil etc. En la siguiente tabla, se presenta el tipo de tecnología o sistema de cogeneración, la relación Q/E, y la temperatura del fluido caliente correspondiente que se puede generar por el mismo sistema. Lo cual da una primera aproximación de la tecnología que se puede aplicar en un caso específico.

Sistema de cogeneración	Relación ( Q/E )	Temperatura de fluido caliente
Motor de combustión interna	De 0.8 a 2	De 120 a 400°C
Turbina de vapor	De 2 a 30	De 120 a mayores de 400°C
Turbina de gas	De 1.2 a 4	De 80 a 150°C

En cuanto a la eficiencia del sistema de cogeneración que se puede alcanzar y la relación Q/E, se observa que estas se encuentran íntimamente relacionadas con el sistema de cogeneración utilizado, tal como se muestra en la gráfica de la siguiente figura 2.6

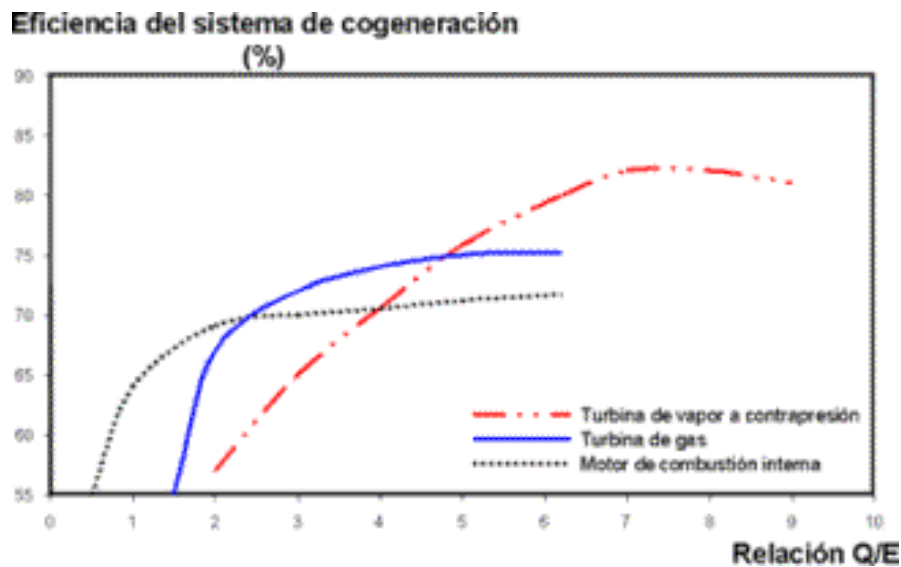


Figura 2.6 Relación Q/E para distintas tecnologías. Adaptado del portal: [http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_573\\_parametros\\_de\\_diseño](http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA_573_parametros_de_diseño)

Dependiendo de esto es que un sistema de cogeneración puede diseñarse para satisfacer cualquiera de las cinco condiciones siguientes:

- Satisfacción al 100% de requerimientos eléctricos.
- Satisfacción parcial de requerimientos eléctricos.
- Satisfacción al 100% de requerimientos térmicos.
- Satisfacción parcial de requerimientos térmicos.
- Satisfacción al 100% de requerimientos eléctricos y térmicos.

Dependiendo del análisis realizado se determinará cuál de las alternativas es la más rentable o conveniente bajo las condiciones económicas y financieras de un proyecto específico. De la operación del sistema se determinará si se contará con excedentes eléctricos tanto en potencia como en energía. Los cuales, de acuerdo al actual marco normativo, en caso de contar con ellos se podrán vender a la red de CFE; en el caso contrario, se podrá seguir adquiriendo el fluido eléctrico, como se muestra en la siguiente figura 2.7

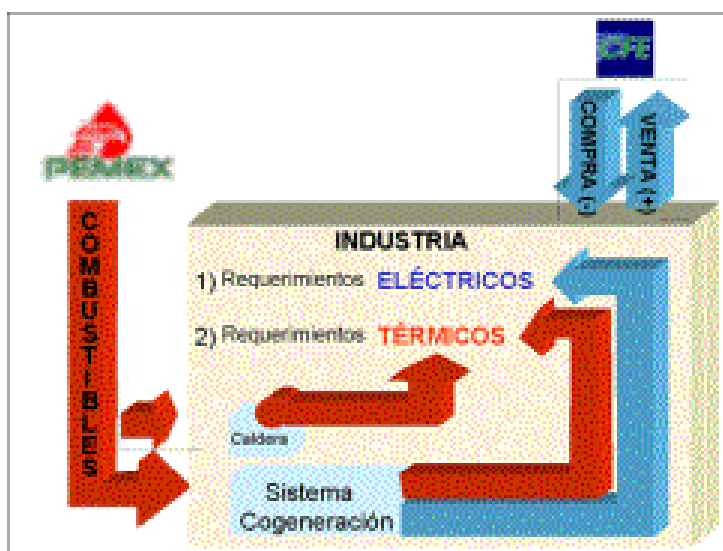


Figura 2.7 Suministro de energéticos a usuarios con un sistema de cogeneración. Adaptado del portal:

<[http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_573\\_parametros\\_de\\_diseño](http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA_573_parametros_de_diseño)>

Para el caso térmico, o de proveer la energía térmica, se tendrá que evaluar si el sistema de cogeneración satisface al 100% los requerimientos o si se tendrá necesidad de los equipos de combustión de las calderas actuales de la empresa para satisfacer la demanda térmica restante.

#### 2.4.2 Índice de calor neto

Para cuantificar el aprovechamiento del combustible para la generación eléctrica, se utiliza el índice conocido como ICN, conocido también como "Consumo Térmico Unitario de Cogeneración" o "Consumo de Combustible para Generación Eléctrica", que se encuentra expresado con la siguiente fórmula:

$$\text{ICN} = \frac{Q_s - \frac{Q}{\eta}}{E}$$

Donde:

$Q_s$  = Calor suministrado, como combustible al sistema de cogeneración (kW)

$Q$  = Calor útil proporcionado (fluido caliente) por el sistema de cogeneración (kW)

$\eta$  = Eficiencia convencional de generación de energía térmica (%)

$E$  = Generación eléctrica del sistema de cogeneración (kW)

El ICN expresa la cantidad de combustible adicional que es necesario introducir al sistema de cogeneración con respecto al que se consumiría para producir el calor útil requerido mediante sistemas convencionales (por ejemplo una caldera de vapor) y la generación convencional de





electricidad mediante unidades termoeléctricas. Es de gran utilidad para comparar el comportamiento de distintos esquemas entre sí.

## 2.5 Elementos de un sistema de cogeneración

Los principales elementos constituyentes de un sistema genérico de cogeneración son:

- Elemento primotor
- Elemento de recuperación de calor de desperdicio
- Sistema de transmisión de energía
- Sistemas auxiliares (bombas, compresores, alternador, etc.)
- Sistema de control

El componente más importante es el motor primario o primotor, el cual convierte la energía del combustible en la energía que suministra la flecha. Los dispositivos de conversión más ampliamente utilizados son las turbinas de vapor, las turbinas de gas y los motores de combustión interna o alternativos.

Existe una gran variedad de equipos para la recuperación del calor de desperdicio, por lo que la selección adecuada de éste dependerá del uso que se le necesite dar. Estos pueden ir, desde sistemas de baja presión de distribución de vapor a la salida de las extracciones de las turbinas, hasta calderas de recuperación para extraer la energía de los gases producidos en una turbina de gas.

Los sistemas de control son necesarios para la automatización del primotor, la operación segura del sistema de recuperación de calor y en general para la operación eficiente del sistema.

### 2.5.1 Clasificación de los Sistemas de Cogeneración

Los sistemas de cogeneración pueden clasificarse de acuerdo con el orden de producción de electricidad y energía térmica en:

- Sistemas superiores (Topping Cycles)
- Sistemas inferiores (Bottoming Cycles)

Los sistemas superiores de cogeneración, que son los más frecuentes, son aquellos en los que una fuente de energía primaria (como el gas natural, diesel, carbón u otro combustible similar) se utiliza directamente para la generación de energía eléctrica en el primer escalón. A partir de la energía química del combustible se produce un fluido caliente que se destina para generar la energía mecánica y la energía térmica resultante, el denominado calor residual como vapor o gases calientes, es suministrada a los procesos industriales ya sea para secado, cocimiento o calentamiento, que constituyen el segundo escalón. Este tipo de sistemas se utiliza principalmente en la industria textil, petrolera, celulosa y papel, cervecera, alimenticia, azucarera, entre otras, donde sus requerimientos de calor son moderados o bajos con temperaturas de 250°C a 600°C.



Los sistemas inferiores, la energía primaria se utiliza directamente para satisfacer los requerimientos térmicos del proceso del primer escalón y la energía térmica residual o de desecho, se usará para la generación de energía eléctrica en el segundo escalón. Los ciclos inferiores están asociados con procesos industriales en los que se presentan altas temperaturas como el cemento, la siderúrgica, vidriera y química. En tales procesos resultan calores residuales del orden de 900 °C. Otra forma de clasificar los sistemas de cogeneración es la siguiente: El uso de la cogeneración data de principios de este siglo cuando las plantas de potencia se integraron a la comunidad para brindar servicios de calentamiento en las zonas urbanas, decir, para espacios, agua caliente y calentamiento de proceso en construcciones residenciales y comerciales. Los sistemas de calentamiento en zonas urbanas perdieron su popularidad en la década de los cuarenta, debido a los bajos precios de los combustibles. Pero el rápido aumento de dichos precios en los sesenta dio renovado interés al calentamiento en zonas urbanas. Las plantas de cogeneración han probado ser económicamente muy atractivas, en consecuencia más y más de ellas se han instalado en los últimos años.

Existe una gran variedad de equipos y tecnologías que pueden ser considerados para una aplicación específica de cogeneración. Cada tecnología tiene sus características propias, que deben ser consideradas en el contexto de los requerimientos específicos del lugar.

Otra clasificación generalmente empleada, y quizá la más utilizada, para los sistemas de cogeneración, es la que se basa en el motor principal empleado para generar la energía eléctrica.

Así tenemos:

- Cogeneración con turbina de vapor
- Cogeneración con turbina de gas
- Cogeneración con ciclo combinado
- Cogeneración con motor alternativo

En la figura 2.8 se muestran los arreglos de los sistemas de cogeneración antes mencionados

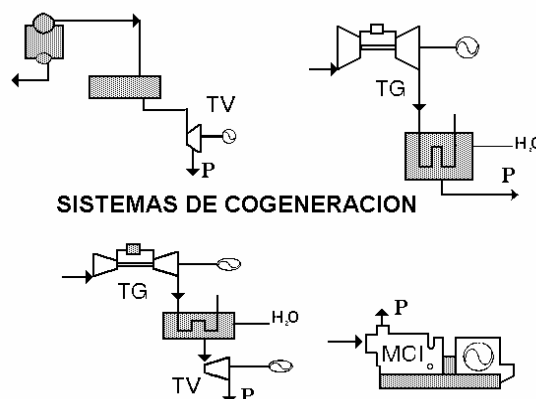


Figura 2.8 Esquema de cogeneración Adaptado de: “Metodología para el análisis de previabilidad en los sistemas de cogeneración” México 2009. CONAE



## 2.6 Tipos y tecnologías de Cogeneración

### 2.6.1 Cogeneración con Turbina de Vapor

En esta configuración la energía mecánica es producida en una turbina, acoplada a un generador eléctrico, mediante la expansión de vapor de alta presión generado en una caldera convencional. En este sistema la eficiencia global es del orden del 85 al 90% y la eléctrica del 20 al 25%. Las turbinas de vapor se dividen en tres tipos: a contrapresión, a extracción y a condensación. En las turbinas de contrapresión la principal característica es que el vapor, cuando sale de la turbina, se envía directamente al proceso sin necesidad de contar con un condensador y equipo periférico, como torres de enfriamiento. En la turbina de extracción/condensación, una parte del vapor puede extraerse en uno o varios puntos de la turbina antes de la salida al condensador, obteniendo así, vapor a proceso a varias presiones, mientras que el resto del vapor se expande hasta la salida al condensador. Estos sistemas se aplican principalmente en aquellas instalaciones en las que la necesidad de energía térmica respecto a la eléctrica es de 4 a 1 o mayor.

### 2.6.2 Cogeneración con Turbina de Gas

En este arreglo un compresor alimenta aire a alta presión a una cámara de combustión en la que se inyecta el combustible, que al quemarse generará gases a alta temperatura y presión, que a su vez, alimentan a la turbina donde se expanden generando energía mecánica que se transforma en energía eléctrica a través de un generador acoplado a la flecha de la turbina. Los gases de escape tienen una temperatura que va de 500 a 650 °C.

Estos gases son relativamente limpios y por lo tanto se pueden aplicar directamente a procesos de secado, o pueden ser aprovechados para procesos de combustión posteriores, ya que tienen un contenido de oxígeno de alrededor del 15%. Debido a su alta temperatura, estos gases suelen ser empleados a su vez, para producir vapor, que se utiliza en los procesos industriales e inclusive, como veremos más adelante para generar más energía eléctrica por medio de una turbina de vapor. La cogeneración con turbina de gas resulta muy adecuada para los procesos en los que se requiere de una gran cantidad de energía térmica, o en relaciones de calor/electricidad mayores a 2.

### 2.6.3 Cogeneración con ciclo combinado

Este sistema se caracteriza porque emplea una turbina de gas y una turbina de vapor. En este sistema los gases producidos en la combustión de la turbina de gas, se emplean para producir vapor a alta presión mediante una caldera de recuperación, para posteriormente alimentar la turbina de vapor, sea de contrapresión o extracción-condensación y producir por segunda vez energía eléctrica, utilizando el vapor a la salida de la turbina o de las extracciones para los procesos de que se trate. El ciclo combinado se aplica en procesos donde la razón electricidad/calor es mayor a 6.



#### 2.6.4 Cogeneración con motor alternativo

El motor alternativo genera la mayor cantidad de energía eléctrica por unidad de combustible consumido, del 34 al 41%, aunque los gases residuales son a baja temperatura, entre 200 y 250 °C. Sin embargo, en aquellos procesos en los que se puede adaptar, la eficiencia de cogeneración alcanza valores similares a los de las turbinas de gas (85%). Con los gases residuales se puede producir vapor de baja presión (de 10 a 15 kg/cm<sup>2</sup>) o agua caliente de 80 a 100 °C.

#### 2.6.5 Cogeneración con microturbinas

Las microturbinas difieren substancialmente de la mayoría de los métodos tradicionales de generación de energía eléctrica usados en la industria, con emisiones sumamente bajas, y que resultan particularmente útiles en muchísimas aplicaciones industriales y comerciales.

Una microturbina es esencialmente una planta de poder miniatura, auto contenida, que genera energía eléctrica y calorífica en rangos desde 30 kW hasta 1.2 MW en paquetes múltiples (multipacks). Tiene una sola parte móvil, sin cajas de engranes, bombas u otros subsistemas, y no utiliza lubricantes, aceites o líquidos enfriantes. Estos equipos pueden usar varios tipos de combustibles tanto líquidos como gaseosos, incluyendo gas amargo de pozos petroleros con un contenido amargo de hasta 7%, gas metano, gases de bajo poder calorífico (tan bajo como 350 BTU) emanados de digestores de rellenos sanitarios. Uno de los usos más prácticos y eficientes de la microturbina está en la cogeneración. Cogeneración, utilizando ambas formas de energía simultáneamente, energía eléctrica y calor, implica precisamente maximizar el uso del combustible con eficiencias del sistema entre 70-80%. Empresas comerciales, pequeñas industrias, hoteles, restaurantes, clínicas, centros de salud, y una multitud de otras aplicaciones pueden combinar sus necesidades de electricidad y energía térmica mediante el uso de microturbinas como sistemas de cogeneración que anteriormente era difícil de lograr.

<b>Tabla 1.2. Eficiencias eléctricas y térmicas por tipo de cogeneración</b>		
<b>Tecnología de cogeneración</b>	<b>Eficiencia Eléctrica (%)</b>	<b>Eficiencia Térmica (%)</b>
Turbina de vapor.	33	52
Turbina de gas sin post-combustión.	38	47
Turbina de gas con post-combustión.	38	42
Ciclo combinado.	57	33
Motor recíprocante (aprovechando calor de gases de combustión y calor del sistema de enfriamiento).	40	30
Motor recíprocante (aprovechando calor de gases de combustión y calor del sistema de enfriamiento).	40	20
Microturbina.	30	50

## Capítulo 3. Sectores industriales nacionales en los que más se utiliza la cogeneración y tecnologías empleadas

### 3.1 Antecedentes

La cogeneración se ha desarrollado muy poco en México. La pequeña y mediana industrias, con excepción del sector paplero, solamente instalaron, entre 1992 y 2007, 166 MW en nueve sistemas, con un promedio de 8.7 MW por sistema. Las condiciones del entorno no han sido lo suficientemente favorables, o bien, no se ha logrado informar y motivar a los industriales para realizar este tipo de proyectos.

### 3.2 Potencial de cogeneración en México

El estimado del potencial de cogeneración en México ha sido realizado en varias ocasiones, siendo el último en el año del 2007. Es por esta razón que resulta de gran importancia actualizar la información y estimar el potencial de la cogeneración actual.

En este estudio se efectúa un estimado del “Potencial de cogeneración en México”, considerando los sectores industriales con demandas mayores a 1,000 kW y factores de carga mayores a un 50%, así como el caso particular de los ingenios azucareros y PEMEX.

El estudio se estima que el potencial nacional máximo de cogeneración, económicamente factible con excedentes al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), es de 10,164 MW, como se muestra en la tabla siguiente:

Sector	Máximo teórico (MW)	Técnicamente factible (MW)	Económicamente factible (MW)	Potencial máximo con excedentes en la industria (MW)
Industrial	2,630	2,286	1,989	6,085
Azucarero	979	979	979	979
PEMEX	3,100	3,100	3,100	3,100
TOTAL	6,710	6,365	6,069	10,164

Tabla 1.3 Potencial total nacional de cogeneración. Adaptado de: “Estudio sobre cogeneración en el sector industrial de México” CONUEE 2009



### 3.2.1 Evolución de la capacidad instalada en cogeneración

Entre 1996 y 2007 la capacidad adicional de cogeneración instalada en la industria, sin considerar a PEMEX, fue de 1,266 MW (Véase tabla 1.4). En 1998 PEMEX regularizó sus permisos en las instalaciones de sus complejos petroquímicos de Cangrejera, Morelos y Pajaritos, así como del complejo procesador de gas de Cactus, que ya estaban funcionando antes de 1992. Fue hasta 2007, con la modificación del Artículo 27 Constitucional, que PEMEX instaló 15 proyectos con 1,064 MW adicionales. (Véase tabla 1.4).

Con lo anterior la capacidad total de cogeneración instalada en México a fines de 2007 fue de 3,304 MW, que se integró con los 459 MW instalados antes de 1993 (regularizados por la CRE) y los 2,845 MW instalados de 1993 a 2007. De los 1,266 MW instalados por el sector industrial, los desarrollos importantes fueron realizados por grupos corporativos de la gran industria y por desarrolladores.

La capacidad real instalada en la pequeña y mediana industrias fue únicamente de 273 MW en 27 proyectos. En la tabla 1.5 se puede apreciar la reducida participación de la pequeña y mediana industrias, que con excepción del sector papelerero, solamente instalaron, en quince años, 166 MW en 19 sistemas, con un promedio de 8.7 MW por sistema.

Fecha	Industria		PEMEX		TOTAL	
	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado	Anual	Acumulado
1993	-	-	-	-	-	-
1994	47	47	-	-	47	47
1995	44	90	-	-	44	90
1996	127	217	-	-	127	217
1997	-	217	-	-	-	217
1998	17	235	515	515	532	749
1999	505	740	-	515	505	1,255
2000	312	1,052	-	515	312	1,567
2001	12	1,064	-	515	12	1,579
2002	8	1,072	-	515	8	1,587
2003	28	1,100	-	515	28	1,615
2004	6	1,106	-	515	6	1,621
2005	93	1,199	-	515	93	1,714
2006	59	1,258	-	515	59	1,772
2007	9	1,266	1,064	1,579	1,072	2,845

Tabla 1.4 Desarrollo de proyectos de cogeneración, 1993 a 2007 Adaptado de: "Comisión Reguladora de Energía (CRE)" 2008



Sector	Empresas	(MW)	(GWh/ año)	Factor de planta
Alimentos	4	21	86	0.47
Farmacéutica	1	7	41	0.71
Minero	1	7	48	0.77
Papelero	8	107	654	0.70
Petroquímico	1	6	44	0.80
Químico	9	94	715	0.87
Textil	3	32	144	0.52
<b>SUBTOTAL</b>	<b>27</b>	<b>273</b>	<b>1,731</b>	<b>0.72</b>
Municipal	1	8	67	0.90
Turismo	1	115	849	0.85
Servicios	1	1	5	0.45
<b>SUBTOTAL</b>	<b>3</b>	<b>124</b>	<b>920</b>	<b>0.86</b>
Petrolero	1	361	2,454	0.78
Grupos corporativos	8	508	3,749	0.84
<b>SUBTOTAL</b>	<b>9</b>	<b>869</b>	<b>6,202</b>	<b>0.81</b>
<b>TOTAL</b>	<b>39</b>	<b>1,266</b>	<b>8,853</b>	<b>0.80</b>

Tabla 1.5 Plantas de cogeneración hasta 2007, distribución sectorial Adaptado de: “Comisión Reguladora de Energía (CRE)” 2008

### 3.3 Potencial de cogeneración en la industria

El sector industrial en México, de los últimos datos del censo industrial de 2003, la industria de la transformación en México, incluyendo a la gran industria y PYMES, tenía 328,000 unidades productivas. De esto en la industria alimentaria había 116,000 empresas y en la manufacturera de otros giros había cerca de 165,000.

#### 3.3.1 Situación operativa en el sector industrial

Para marzo de 2008 la Secretaría de energía informó que existían 739 industrias grandes y 215,707 industrias medianas abastecidas por el SEN en todo tipo de tarifas, para un total industrial de 216,404 empresas.

De la información proporcionada por CFE en junio de 2008, arrojó 3,226 empresas de usuarios con más de 1,000 kW de demanda contratada. De estos las empresas con posibilidades de cogeneración tipo “superior”, que requieren vapor y/o agua caliente fueron 786 empresas.



### 3.3.2 Metodología utilizada para la estimación del potencial

Se analizaron los datos que se obtuvieron de CFE con demanda contratada mayor a 1,000 kW. Posteriormente, se creó una lista de las empresas industriales que pueden tener mejor aplicación a proyectos de cogeneración, clasificándolas en las siguientes 18 ramas industriales: Aceites comestibles, bebidas y refrescos, botanas y dulces, cereales, cervecerías, conservas y jugos, destilerías, lácteos, alimentos diversos, panificación, automotriz integrada, cartón y papel, celulosa y papel, farmacéuticas, fibras químicas, hule (llantas), industria química, textil.

Todas estas empresas tienen relaciones térmicas/ eléctricas altas y requieren vapor y/o agua caliente para sus procesos.

### 3.3.3 Configuración propuesta para cogeneración

Se analizaron tres configuraciones para sistema del tipo superior:

- **TURBINA DE GAS Y CALDERA DE RECUPERACIÓN:** Para su evaluación se empleó la información de los principales modelos y marcas de turbinas del gas de documento. Así mismo se consideró la reducción de la temperatura en los gases de escape de las turbinas de gas, los cuales ocurren al operar con factores de planta menores al 100%, además de reducir su eficiencia.
- **MOTOR Y CALDERA DE RECUPERACIÓN:** Para su evaluación se empleó la información de los principales modelos y marcas de los fabricantes que están activos o han tenido actividad en México.
- **VAPOR Y CALDERA DE ALTA PRESIÓN:** Se consideraron arreglos del tipo extracción-condensación, con condiciones de admisión de 60 barm / 480°C y en procesos que requieren vapor a 20 barm o mayores, se considero 80 barm y 525°C. En todos los casos se consideró presión de escape (condensador) de 0.1 bara.

El aprovechamiento de la energía térmica de gases calientes de escape de hornos, secadores o equipos de fuego directo puede ser una fuente importante de recuperación de calor residual ya que en procesos no optimizados se pueden emitir gases de combustión con temperaturas de 300 a 1200°C y volúmenes mucho mayores a los que emiten los generadores de vapor, por tener excesos de aire considerables. Estos tienen su principal aplicación en procesos no optimizados de la industria del cemento, de acero, vidrio, cerámica, metalurgia, o gases combustibles generados en los procesos industriales de algunas industrias petroquímicas y químicas.

Configuraciones para sistema del tipo inferior:

Para el aprovechamiento de la energía residual producto de la combustión de equipos con fuego directo, se pueden emplear calderas de recuperación de gases calientes para producción de vapor con el que se alimenta a turbinas de vapor para generar energía eléctrica.





El gasto masa de vapor producido es igual al calor trasferido entre la energía específica del vapor. La energía eléctrica producida en la turbina de vapor es igual a la masa de vapor por la energía específica del salto entálpico en la turbina. Normalmente la caldera de recuperación debe producir vapor a presiones altas (20 a 60 bar) y temperaturas de 230 a 520°C, para optimizar el ciclo y obtener una mayor producción de trabajo y energía eléctrica.

Las calderas de recuperación del tipo HRSG (por su acrónimo en inglés) aprovechan los gases residuales calientes de proceso para producción de vapor hasta con presiones hasta 180 bar y 565°C de temperatura. Se fabrican en muy diversas formas y configuraciones. Pueden ser horizontales o verticales; pueden operar con gases calientes sin combustión, o con gases de proceso y postcombustión.

Otra alternativa de cogeneración para procesos del “tipo inferior” puede ser la instalación de una turbina de gas en ciclo abierto, para producir energía eléctrica y aprovechar los gases de escape para sustituir combustible en el proceso.

Las turbinas de gas tienen gases de escape a temperaturas de 350 a 650°C en condición estándar, por lo que pueden aplicarse en procesos de secado o calentamiento, pero no sustituyen combustible en procesos que requieren altas temperaturas como son los casos de fundición o calcinación, ya que estas operaciones requieren temperaturas mayores a 1,200°C.

Con esta alternativa se tendría un potencial de cogeneración en sectores como el de la cerámica en el proceso de secado o en secado de granos y harinas. Los ahorros son sustitución parcial de la energía eléctrica que estén tomando de la red, pero no existe ahorro de combustible, ya que la turbina de gas consumirá más combustible del que se puede ahorrar en el proceso.

### 3.4 Desarrollo de la Cogeneración en México

La cogeneración en México está permitida por su legislación desde los años 40's, los primeros sectores industriales en utilizarla fueron el petrolero, el azucarero, el de la celulosa y el papel, lo hicieron bajo la modalidad de autoabastecimiento, a excepción de PEMEX ninguna empresa entregaba energía a la red.

En el año 1992 se publica la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE), con esta reforma se permite la participación del sector privado en la generación de energía eléctrica en el Sistema Eléctrico Nacional, bajo la modalidad de Cogeneración.

En 1992 la CONAE (ahora CONUEE) hizo la primera estimación del potencial factible de cogeneración en México a partir del análisis del consumo anual de combustible de 1600 empresas, estimando en ese entonces un potencial de cogeneración de 5500 MW. Posteriormente en 1995, 1996, 1997 y en 2009, fue actualizando su cálculo, considerando otras metodologías más completas y bases de datos más amplias, obteniéndose la siguiente tabla:

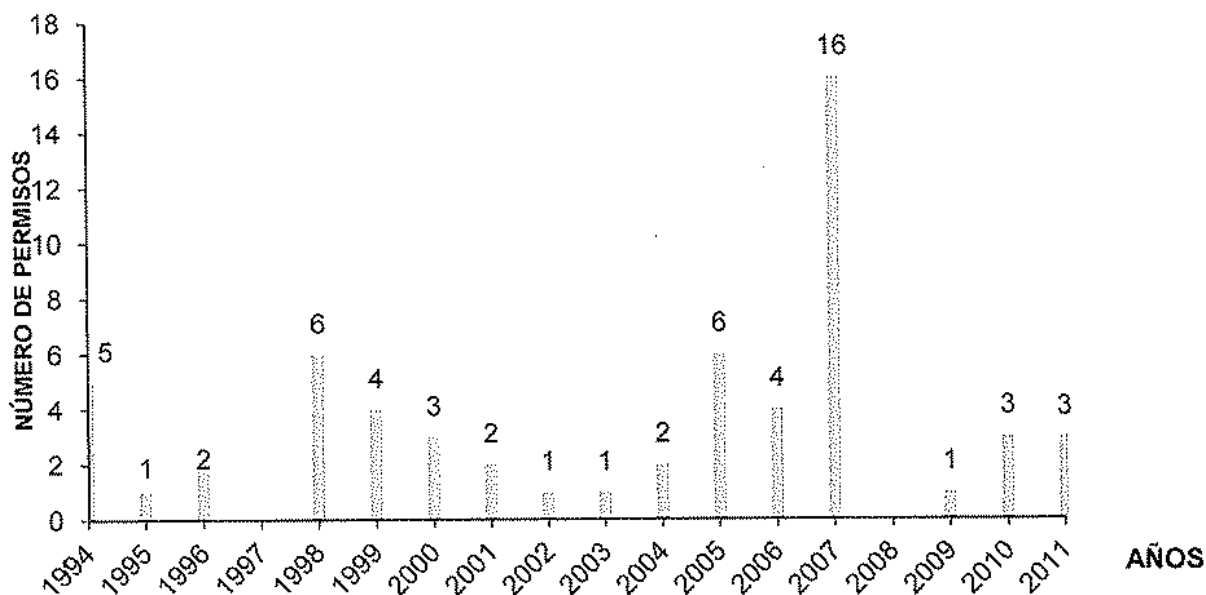


Año	Potencial total mínimo factible (MW)	Potencial total máximo factible (MW)
1992	No lo considera el estudio	5,500
1995	7,586	14,229
1996	3,507	6,578
1997	8,372	15,698
2009	6,385	10,164

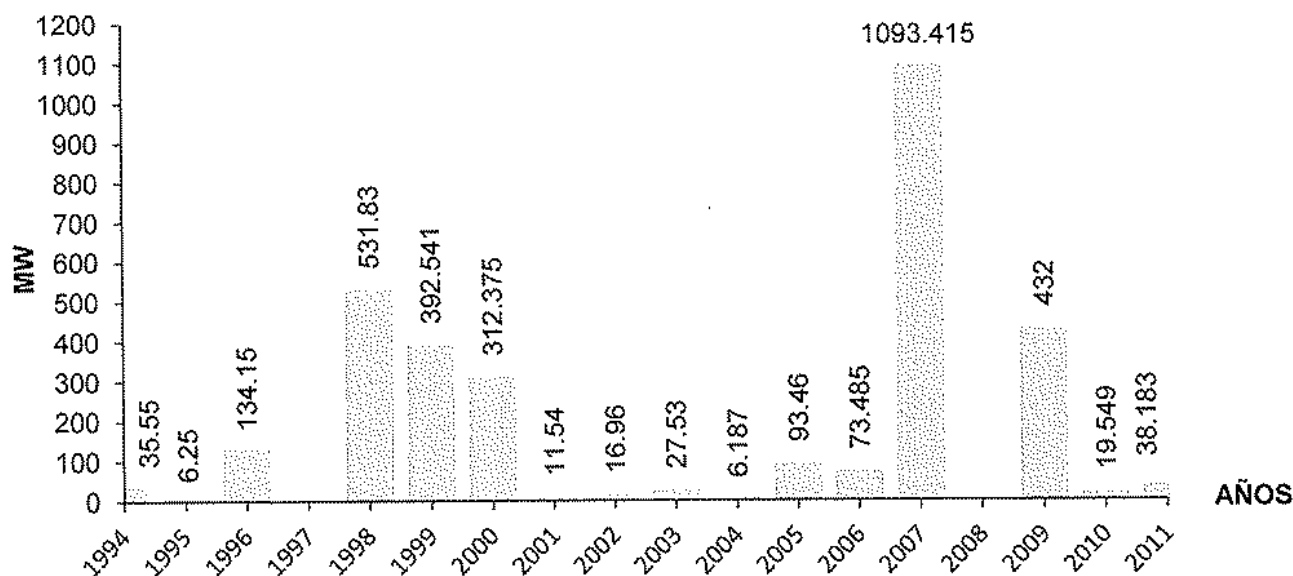
Tabla 1.6 Estimación del potencial de cogeneración en México

Debido a las variantes en las metodologías (aún cuando en el estudio del 95 y 97 se usó la misma) y la base de datos considerada, no se tiene una uniformidad en las estimaciones. Sin embargo en la ENE 2012-2026 se dice que México cuenta con un potencial total de cogeneración cercano a 11,000 MW.

Si bien el potencial de cogeneración nos muestra el crecimiento que puede tener en la generación de electricidad bajo esta modalidad, se tiene un dato más duro en la potencia instalada.



Gráfica 1. Número de permisos de cogeneración otorgados por año. Adaptado de: "Comisión Reguladora de Energía (CRE)" 2012



Grafica 2. Capacidad instalada por año. Adaptado de: "Comisión Reguladora de Energía (CRE)" 2012

De las gráficas anteriores se observa que en el 2007 hubo un incremento considerable en el número de permisos otorgados, el análisis de los datos de ese año revela que de los 16 permisos otorgados, 14 fueron para PEMEX, quien para ese momento ya contaba con un proyecto de 120.7 MW que operaba desde 1998. Posteriormente en 2009 puso en marcha en el complejo procesador de Gas Nuevo PEMEX con una capacidad autorizada de 432 MW, convirtiéndose en el proyecto de cogeneración de mayor potencia en el país. El último proyecto cogeneración instalado por PEMEX fue en 2011 con una capacidad de 19.5 MW.

La revisión anterior permite ubicar a PEMEX como el mayor cogenerador en México, con una total instalada de 1,657.115 MW, es decir 41.4% del potencial teórico máximo indicado en 2006 por la Dirección Corporativa de PEMEX, estimado en 4,000 MW.

Quitando el caso de PEMEX en México para el resto de la industria el desarrollo de la cogeneración es escaso con 1657 MW instalados, sin embargo este dato podría ser más amplio si se consideran plantas operando con sistemas de cogeneración bajo permisos denominados de autoabastecimiento o Usos Propios Continuos (UPC), tal es caso de los ingenios azucareros por su particular operación.

La Cámara Nacional de la Industria Azucarera y Alcohólica en su informe de producción 2011-2012 registro 54 ingenios en operación, de los cuales 50 cogeneran con la quema del bagazo de caña y combustóleo, con una capacidad total de 436.125 MW, a los que se estarían sumando 60.360 MW de 2 proyectos más están en construcción. Sin embargo esta capacidad de generación es solo durante el periodo de la zafra y para usos propios, se necesitarían optimizar los sistemas existentes para generar excedentes para la red aún incluso en tiempos



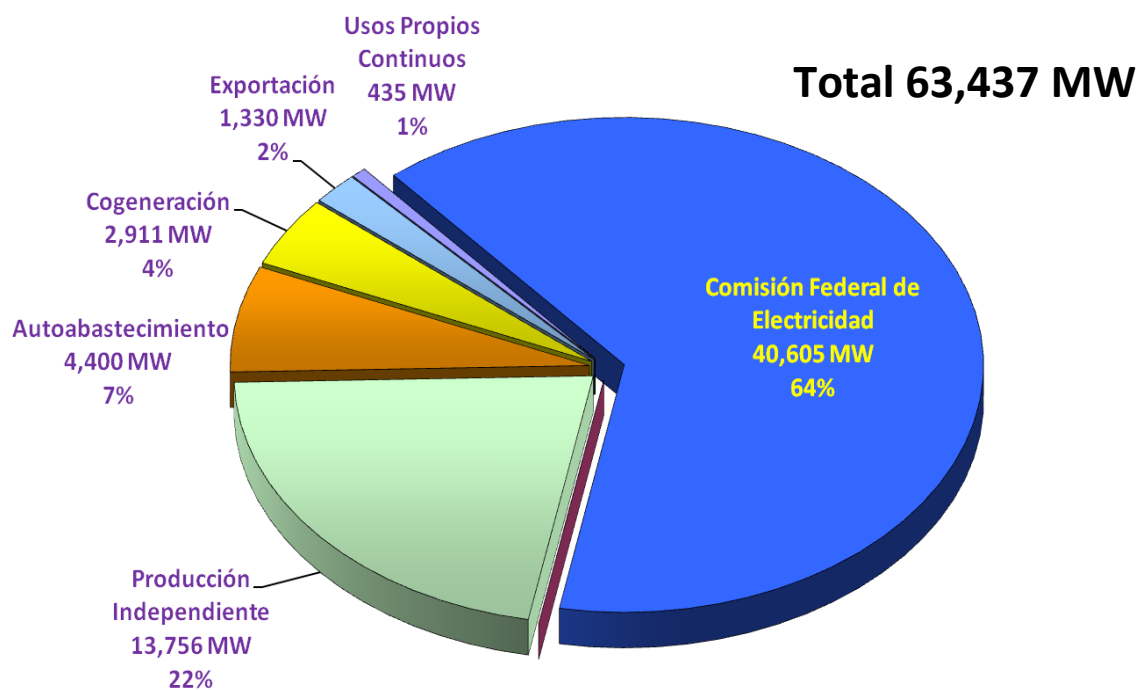
fuera de zafra, de tal forma que este sector aún tiene un potencial posible de cogeneración entre 500 y 600 MW.

El desarrollo de la cogeneración en México es poco, si se considera los MW instalados bajo la modalidad de cogeneración equivalen a 6.3% del total de la capacidad de generación eléctrica del país a diciembre de 2011.

No se ha tenido el auge esperado de la cogeneración, por lo que se deberá complementar acciones más concretas para el escenario actual, tales como trámites simplificados, difusión tanto para industriales como para firmas de ingeniería, nuevos esquemas de financiamiento, desarrollo de infraestructura eléctrica y de gas natural, entre otras acciones para alcanzar el potencial estimado.

### 3.5 Estado actual de la Cogeneración en México

Hasta febrero del 2012 la Comisión Reguladora de Energía (CRE) tiene registrados 60 permisos bajo la modalidad de cogeneración en operación, que representa 3225 MW instalados, además se tienen 6 permisos bajo la modalidad de cogeneración en construcción, que sumaran 139.2 MW a los ya existentes.



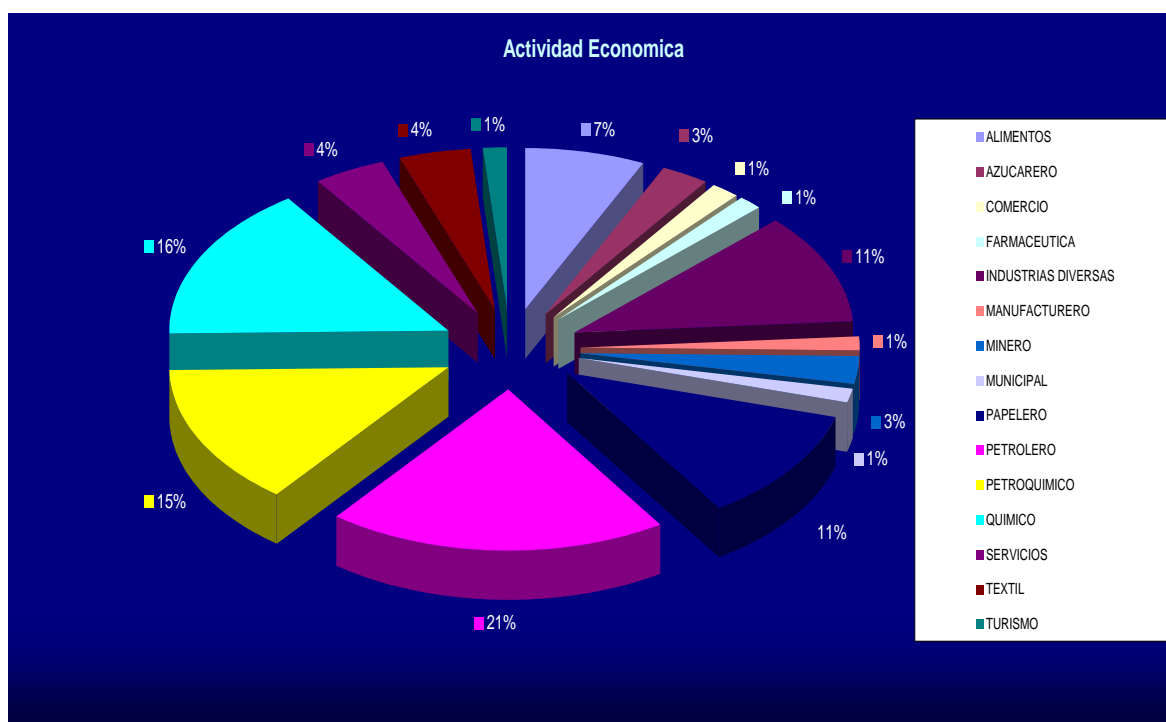
Grafica 3. Capacidad instalada en el Sistema Eléctrico Nacional. Adaptado de: "Comisión Reguladora de Energía (CRE)" 2012

Actualmente un estudio realizado hasta Julio del 2012 la Comisión Reguladora de Energía tiene registrados 71 permisos bajo la modalidad de cogeneración que se describen en la siguiente tabla; de los cuales estos sectores participan:

ACTIVIDAD ECONOMICA	# DE PERMISOS	PORCENTAJE
ALIMENTOS	5	7%
AZUCARERO	2	3%
COMERCIO	1	1%
FARMACEUTICA	1	1%
INDUSTRIAS DIVERSAS	8	11%
MANUFACTURERO	1	1%
MINERO	2	3%
MUNICIPAL	1	1%
PAPELERO	8	11%
PETROLERO	14	20%
PETROQUIMICO	10	14%
QUIMICO	11	15%
SERVICIOS	3	4%
TEXTIL	3	4%
TURISMO	1	1%

71

Tabla 1.7 Sectores participantes. Generación propia. Adaptado de: CRE 2012



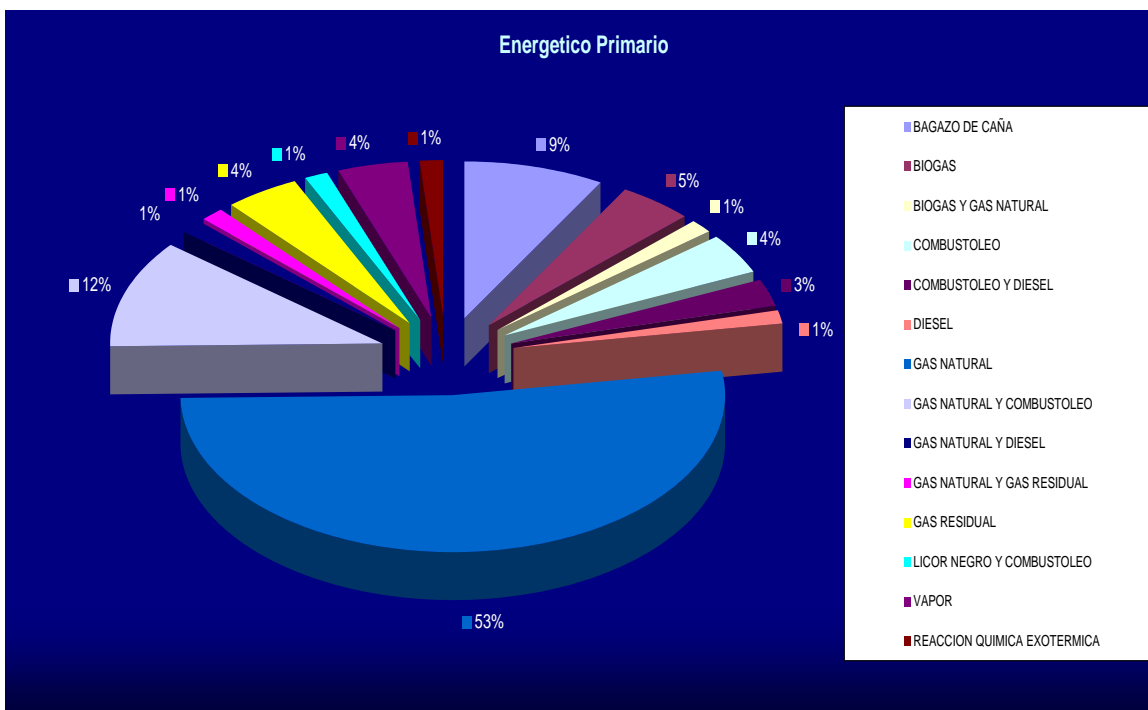
Grafica 4. Sectores participantes. Generación propia. Adaptado de: CRE 2012



El energético utilizado fue el siguiente:

ENERGETICO PRIMARIO	# DE PERMISOS	PORCENTAJE
BAGAZO DE CAÑA	6	8%
BIOGAS	3	4%
BIOGAS Y GAS NATURAL	1	1%
COMBUSTOLEO	3	4%
COMBUSTOLEO Y DIESEL	2	3%
DIESEL	1	1%
GAS NATURAL	37	52%
GAS NATURAL Y COMBUSTOLEO	8	11%
GAS NATURAL Y DIESEL	1	1%
GAS NATURAL Y GAS RESIDUAL	1	1%
GAS RESIDUAL	3	4%
LICOR NEGRO Y COMBUSTOLEO	1	1%
VAPOR	3	4%
REACCION QUIMICA EXOTERMICA	1	1%

Tabla 1.8 Energético primario. Generación propia. Adaptado de: CRE 2012



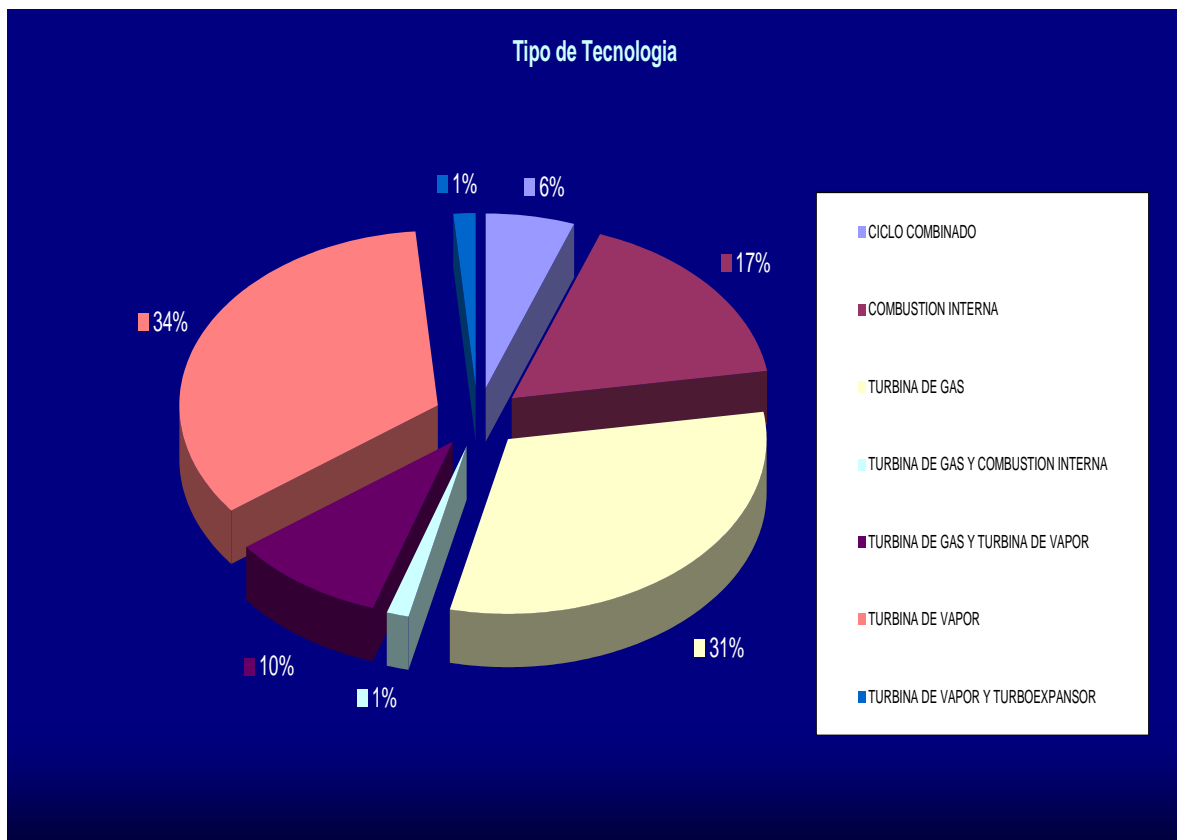
Grafica 5. Energético primario. Generación propia. Adaptado de: CRE 2012



El tipo de tecnología empleado es el siguiente:

TIPO DE TECNOLOGIA	# DE PERMISOS	PORCENTAJE
CICLO COMBINADO	4	6%
COMBUSTION INTERNA	12	17%
TURBINA DE GAS	22	31%
TURBINA DE GAS Y COMBUSTION INTERNA	1	1%
TURBINA DE GAS Y TURBINA DE VAPOR	7	10%
TURBINA DE VAPOR	24	34%
TURBINA DE VAPOR Y TURBOEXPANSOR	1	1%

Tabla 1.9 Tecnología empleadas. Generación propia. Adaptado de: CRE 2012



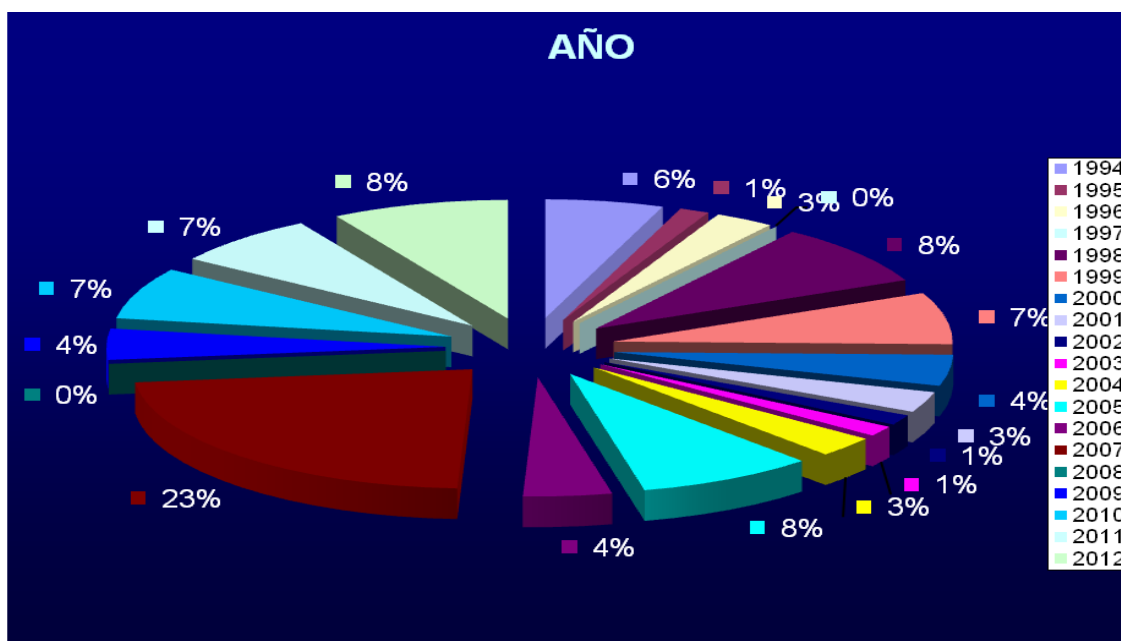
Grafica 6. Tipos de tecnologías empleadas. Generación propia. Adaptado de: CRE 2012



Y número de permisos de cogeneración registrados por año

año	# de permisos	%
1994	4	6%
1995	1	1%
1996	2	3%
1997	0	0%
1998	6	8%
1999	5	7%
2000	3	4%
2001	2	3%
2002	1	1%
2003	1	1%
2004	2	3%
2005	6	8%
2006	3	4%
2007	16	23%
2008	0	0%
2009	3	4%
2010	5	7%
2011	5	7%
2012	6	8%
	71	

Tabla 1.10 Permisos de cogeneración por año. Generación propia. Adaptado de: CRE 2012



Grafica 7. Permisos de cogeneración por año. Generación propia. Adaptado de: CRE 2012



## Capítulo 4. Bases para una evaluación de un sistema de cogeneración

Establecer una metodología que incluya los aspectos generales de los sistemas de cogeneración de energía eléctrica con la finalidad de evaluar la eficiencia de los sistemas como cogeneración.

### 4.1 Metodología para determinar la eficiencia de los sistemas de cogeneración

La metodología para los sistemas de cogeneración evalúa la eficiencia mediante la siguiente operación.

Cálculo de la eficiencia de un sistema

$$\% \eta = \frac{E + H}{F}$$

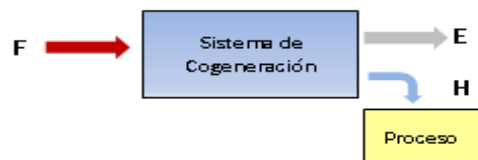


Figura 4. Forma universal para calcular la eficiencia. Adaptado de: Comisión Reguladora de la Energía (CRE). Marco Regulatorio de la cogeneración. 2012.

Donde:

(E) Energía eléctrica neta, medida en el punto de conexión de los generadores principales, generada en un sistema durante un año.

(F) Combustible fósil empleado en un sistema a lo largo de un año, medido sobre poder calorífico inferior

(H) La energía térmica neta o el calor útil generado en un sistema y empleado en un proceso productivo durante un año

(Re) Rendimiento eléctrico medio de un sistema, calculado como:

$$Re = \frac{E}{F}$$

(Rh) Rendimiento térmico del sistema, calculado como:

$$Rh = \frac{H}{F}$$



(RefE) Rendimiento de referencia para la generación eléctrica a partir de un combustible fósil en una central eficiente con tecnología actual, medido sobre la base del poder calorífico inferior del combustible. Se considera que la central de generación se interconecta con el SEN en alta tensión.

(RefH) Rendimiento de referencia para la generación térmica a partir de un combustible fósil en una central convencional eficiente de tecnología actual, medido sobre la base del poder calorífico inferior del combustible.

(fp) Factor de pérdidas de energía eléctrica debidas a la transmisión y distribución desde el nivel de alta tensión hasta el nivel de tensión al que se interconecta el sistema, calculado como:

$$f_p = 1 - \% \text{ pérdidas de energía eléctrica}$$

(RefE') Rendimiento de referencia para la generación eléctrica a partir de un combustible fósil en una central eficiente de tecnología actual, sobre la base del poder calorífico inferior del combustible, medido a la tensión a la que se conecta el sistema, calculado como:

$$Ref E' = Ref E * f_p$$

(Econv) Energía eléctrica generada por una central convencional eficiente, interconectada con el SEN a alta tensión, utilizando la misma cantidad de combustible que es atribuible en el sistema a la generación de energía eléctrica, calculado como:

$$E_{conv} = F_e * Ref E$$

(Eic) Energía eléctrica libre de combustible, esto es, la energía eléctrica generada en el sistema por encima de la que se generaría en una central térmica convencional utilizando la misma cantidad de combustible que en un sistema es atribuible a la generación de energía eléctrica. Equivale a una energía eléctrica de carácter renovable, calculada como:

$$E_{ic} = AEP * Ref E$$

(n) Eficiencia del sistema en términos de generación eléctrica libre de combustible

$$\eta = \frac{E_{ic}}{E_{conv}} = \frac{AEP}{F_e}$$

#### 4.2 Criterio de eficiencia

Se considera que el sistema corresponde a una central con un proceso de Cogeneración Eficiente sí, la eficiencia resulta ser:

$$\eta \geq \eta_{min}$$

Donde el valor  $n_{min}$  esta determinado por la capacidad de generación de sistema, de acuerdo con la siguiente tabla:

Capacidad del sistema de cogeneración	$n_{min}$ %
$0.03 < \text{Capacidad MW} < 0.5$	5
$0.5 \leq \text{Capacidad MW} < 30$	10
$30 \leq \text{Capacidad MW} < 100$	15
$\text{Capacidad MW} \geq 100$	20

Tabla 1.11 Capacidad de generación del sistema. Adaptado de: Comisión Reguladora de Energía (CRE) 2011

#### 4.2.1 Valores de Referencia

Para el cálculo de la eficiencia de un sistema se deberán considerar, de acuerdo a la tecnología, los siguientes valores de referencia:

<b>RefE</b>	44%
<b>RefH ( con vapor o agua caliente como medio de calentamiento)</b>	90%
<b>RefH ( con uso directo de gases de combustión)</b>	82%

Tabla 1.12 Valores de referencia para el cálculo de la eficiencia. Adaptado de: Comisión Reguladora de Energía (CRE) 2011

#### 4.3 Comparación de la metodología con las metodologías adoptadas por otros sistemas regulatorios

A continuación se presenta una tabla de comparación que ha sido adoptado en otros países o regiones del mundo.

País o región	Criterio de Eficiencia adoptado	$\eta_{min}$ %
Estados Unidos	$\eta = Re + 0.5 * Rh$	$\eta > 0.425$ si $Rh/(Re+Rh) > 0.15$ ; $\eta > 0.450$ si $Rh/(Re+Rh) < 0.15$
Gran Bretaña	$\eta = X * Re + Y * Rh$	$\eta > 1.05$ y $Re > 0.2$
Brasil	$\eta = Re + Rh / X$	$\eta > 0.25-0.50$ según tecnología y $Rh > 0.15$
España	$\eta = EE$	$\eta > 0.495-0.590$ según tecnología
Unión Europea	$\eta = APEP$	$\eta > 0.1$
México	$\eta = AEP / Fe$	$\eta > 0.05-0.20$ según capacidad

Tabla 1.13 Criterios de Eficiencias por otros países. Adaptado de: Comisión Reguladora de Energía (CRE) 2011



#### 4.3.1 Criterio de eficiencia en otros países

Los Estados Unidos, primeros en adoptar un criterio de eficiencia, utilizan una fórmula empírica de aplicación generalizada para todos los casos con la que se busca tener una aproximación simple a la eficiencia del sistema.

Gran Bretaña y Brasil introdujeron modificaciones a dicha fórmula para tomar en cuenta una mayor diversidad de casos.

España adoptó como criterio la definición de eficiencia atribuible a la generación de energía eléctrica, mientras que la Unión Europea adoptó el criterio de ahorro porcentual de energía primaria.

Para el caso de México se decidió adoptar la definición de eficiencia en la producción de energía eléctrica libre de combustible, diferenciado por capacidad de generación, que permite adoptar un conjunto único de valores de rendimientos de referencia de energía eléctrica y de calor útil para todos los casos, y aún así tener resultados similares a los obtenidos por las metodologías adoptadas por los otros países, como se puede observar en la tabla 1.13 en las que se comparan las diferentes metodologías para cinco casos específicos.

#### 4.4 Procedimientos de medición de variables para la evaluación de sistemas de cogeneración

La eficiencia de un sistema de cogeneración se determinará a través de tres variables representativas de la operación del mismo:

1. La energía térmica o calor útil (H) en KJ
2. La energía eléctrica generada (E) en KJ
3. El combustible empleado en el proceso de cogeneración (F) en KJ

Para la evaluación de un sistema de cogeneración, las personas autorizadas deberán considerar lo siguiente:

- Identificar el tipo de sistema de cogeneración
- Identificar el esquema de mediciones en el sitio
- Definir los límites del sistema e identificar las variables del proceso que deben medir para la posterior evaluación del sistema de cogeneración

##### 4.4.1 Identificación del tipo de sistema de cogeneración

Existen 3 formas distintas de cogeneración de energía eléctrica:

1. La producción de energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas

Estos sistemas que operan son aquellos en los que la generación de energía eléctrica se realiza en la primera etapa a partir de la energía liberada por el energético primario de entrada (en el primotor), y la energía térmica remanente se recupera como calor útil en una segunda etapa para ser empleada en los procesos productivos de las instalaciones asociadas al proceso de cogeneración que lo requieren, como se muestra en el esquema siguiente:

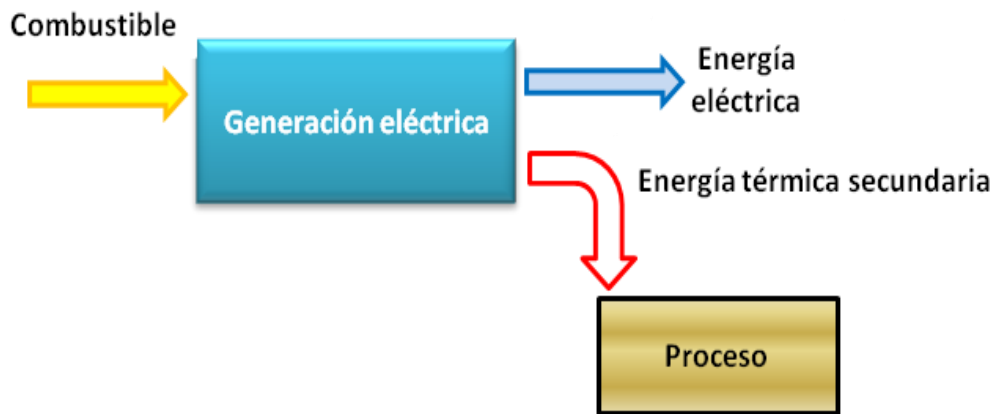


Figura 4.1 Cogeneración de energía eléctrica. Adaptado de: Comisión Reguladora de la Energía (CRE). Marco Regulatorio de la cogeneración. 2012.

2. La producción directa o indirecta de energía eléctrica a partir de energía térmica no aprovechada en los procesos de que se trate

Los sistemas que operan según la forma de cogeneración son aquellos en los que la generación de energía eléctrica se realiza en la segunda etapa del proceso a partir de:

La energía térmica no aprovechada en el proceso de que se trate, como en los casos de turbinas que transforman la energía térmica del vapor no aprovechado de determinado proceso, en energía mecánica y en energía eléctrica por medio de un alternador.

La existencia de configuraciones que prevean que el vapor, para alimentar a la turbina, provenga de un generador de vapor por recuperación de calor que aprovecha la energía térmica de los gases calientes provenientes de un proceso industrial, como se muestra en el esquema siguiente:

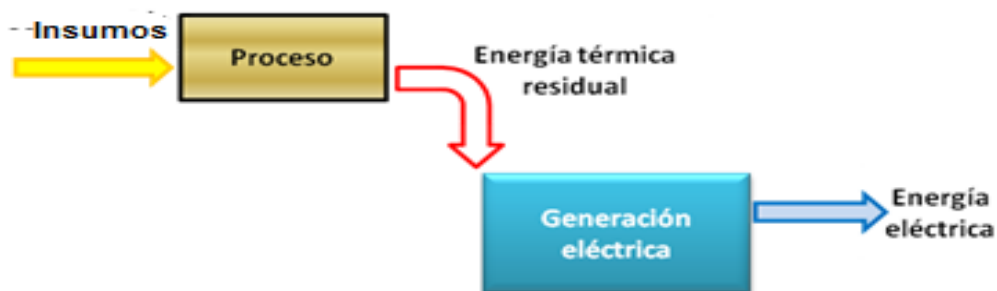


Figura 4.2 Configuración para aprovechar gases calientes de procesos. Adaptado de: Comisión Reguladora de la Energía (CRE). Marco Regulatorio de la cogeneración. 2012.



Los energéticos de entrada considerados en esta forma de cogeneración serán vapor o gases calientes procedentes de los procesos industriales de los que son un subproducto.

Los sistemas a que se refiere la disposición anterior serán considerados como eficientes siempre y cuando no utilicen un combustible fósil adicional para la generación de energía eléctrica, o bien se trate de procesos de la industria petrolera, los cuales deberán ser evaluados en términos del presente instrumento. Las personas autorizadas deberán realizar la evaluación del sistema de cogeneración con el objeto de constatar, entre otros, que en el proceso de cogeneración se aproveche energía térmica para la generación de energía eléctrica.

3. La producción directa o indirecta de energía eléctrica utilizando combustibles producidos en los procesos de que se trate

Los sistemas que operan según la forma de cogeneración establecida, son aquéllos en los cuales la generación de energía eléctrica se realiza en la segunda etapa, a partir de un combustible residual (subproducto) de un proceso industrial, como se muestra en el esquema siguiente:

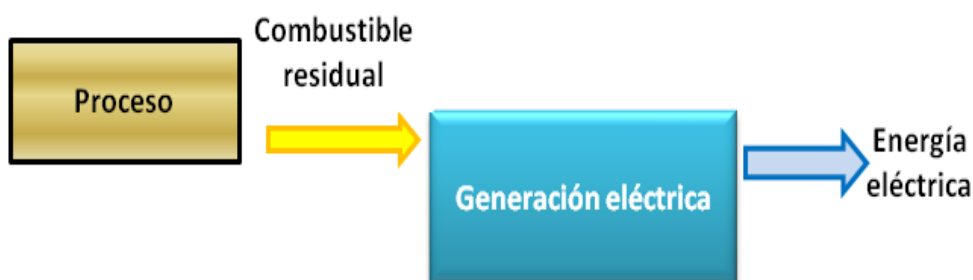


Figura 4.3 Sistema de cogeneración con capacidad total instalada. Adaptado de: Comisión Reguladora de la Energía (CRE). Marco Regulatorio de la cogeneración. 2012.

Las tecnologías que se consideran para esta definición son turbina de vapor, turbina de gas, motor de combustión interna, y ciclo combinado con turbina de gas y turbina de vapor.

Los procesos que se ajustan a esta forma de cogeneración utilizan un combustible no necesariamente producido en los mismos, es decir, se prevé sólo un aprovechamiento de este combustible para la producción de energía eléctrica.

#### 4.4.2 Identificación de los límites de cada sistema de cogeneración

De acuerdo con la forma de cogeneración a la que corresponda cada uno, a efecto de identificar las corrientes del proceso y diferenciar la zona de cogeneración de la zona de consumo, la cual utiliza la producción energética de la unidad de cogeneración, conforme a lo siguiente:

1. Para la primera forma de cogeneración, si existen en el sitio equipos exclusivos de generación térmica o eléctrica, éstos no deben ser considerados como parte del sistema de cogeneración.

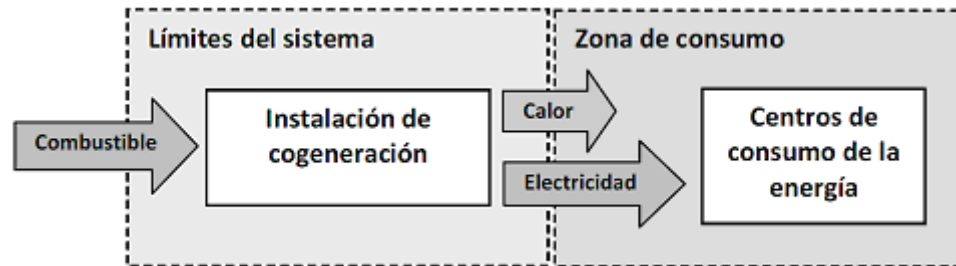


Figura 4.4 Primera forma del límite del sistema. Adaptado de: Comisión Reguladora de la Energía (CRE). Marco Regulatorio de la cogeneración. 2012

2. Para la segunda forma de cogeneración, el límite del sistema de cogeneración se restringe al equipo secundario que integra el sistema de cogeneración. El calor aportado por el o los equipos principales se considera como un aprovechamiento de calor residual que se suministra al sistema tal como si fuera un combustible para la producción de energía eléctrica.

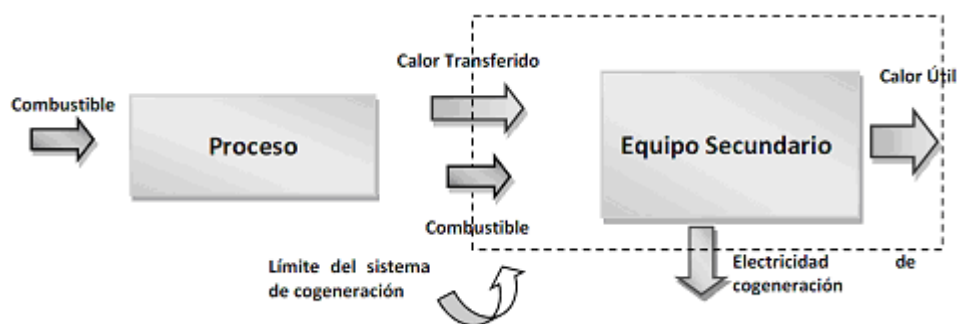


Figura 4.5 Segunda forma del límite del sistema. Adaptado de: Comisión Reguladora de la Energía (CRE). Marco Regulatorio de la cogeneración. 2012

3. Para la tercera forma de cogeneración, el límite del sistema de cogeneración se restringe al equipo secundario que integra el sistema de cogeneración. El combustible residual, producto del proceso realizado en el equipo principal, se considera un aprovechamiento de energía primaria que se suministra al sistema de cogeneración.

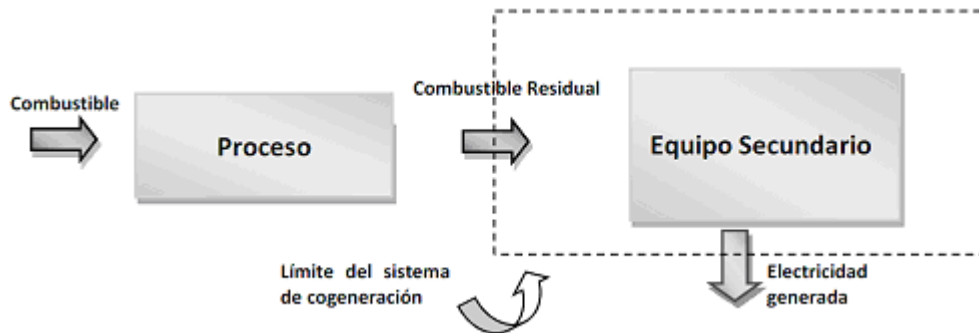


Figura 4.6 Tercera forma del límite del sistema. Adaptado de: Comisión Reguladora de la Energía (CRE). Marco Regulatorio de la cogeneración. 2012

Las unidades que no operan en el proceso de cogeneración no deben ser incluidas dentro de los límites del sistema a ser evaluado, tales como calderas empleadas con fines exclusivamente térmicos, calderas de recuperación de calores residuales con combustión auxiliar o suplementaria que no estén acopladas a turbinas para exclusiva generación térmica, generadores auxiliares que buscan reducir demanda de potencia y energía eléctrica en horario punta o de respaldo ante emergencias derivadas de interrupciones en el servicio público de energía eléctrica.

#### 4.5 Variables identificadas para la evaluación de la eficiencia

Las variables energéticas que se deberán medir para la evaluación de la eficiencia de los sistemas de cogeneración serán las siguientes:

**Energía eléctrica neta (E):** La energía eléctrica generada en el sistema será la producción de electricidad en el punto de interconexión de los generadores cuando simultáneamente se está aprovechando la energía térmica en los procesos de la central. Se debe tomar la producción neta del sistema, por lo que debe sustraerse la energía eléctrica empleada para usos internos del mismo.

**Combustible (F):** Es el combustible que ingresa a la planta y que efectivamente se está empleando en el sistema de cogeneración para la generación de electricidad u obtención de calor útil. En caso de que existan otros consumos de combustible en la planta o combustible adicional, adicionales al sistema de cogeneración, éstos deben ser identificados y descontados.

**Calor útil o energía térmica (H):** Es la energía producida en un sistema de cogeneración, que es transferida y aprovechada en una zona de consumo, conforme a lo siguiente:

Se debe considerar únicamente la parte de lo producido como energía térmica en el sistema de cogeneración que es efectivamente transmitida para su aprovechamiento.



#### 4.6 Mejoras de eficiencia en sistemas de cogeneración

Sobre la posibilidad de mejorar la eficiencia en las plantas de cogeneración ya existentes, deben tomarse en consideración las características y condiciones en que fueron diseñadas.

Sin excepción, implantar las Mejores Tecnologías Disponibles (M.T.D.) utilizables en cada momento. Las condiciones de diseño garantizan que la instalación es la más apropiada a cada situación particular, en gran medida de introducir modificaciones para incrementar su eficiencia.

En lo que se refiere a mejora de la eficiencia energética de las cogeneraciones existentes, dicha eficiencia esta ligada a la modernización y/o sustitución de los equipos principales en función de su vida útil. Esta vida útil depende de diversos factores relacionados con la tecnología utilizada y horas de funcionamiento de la instalación.

#### 4.7 Análisis de un sistema de cogeneración

A continuación se realiza un análisis a una planta de cogeneración y se resuelven algunos problemas que se le plantean al ingeniero: optimización del diseño y diagnósticos de la operación.

La metodología utilizada puede plantearse y resolverse a través de la evaluación de eficiencia de cogeneración.

En el siguiente esquema se muestra la planta de cogeneración

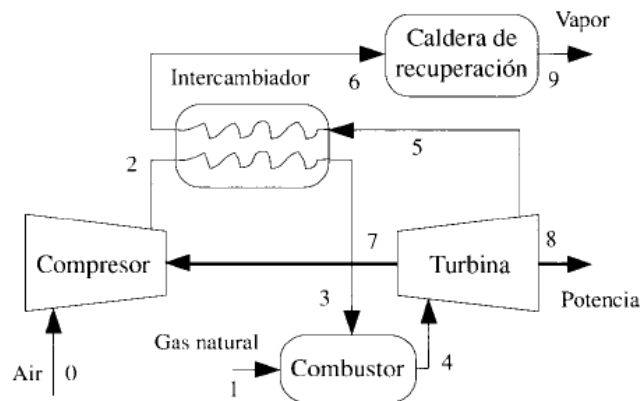


Figura 4.7 Estructura física de la planta de cogeneración. Adaptado de: Análisis termoeconómico de un sistema de cogeneración. Rev. Ing. Química. 1993.



Para analizar el problema planteado, la planta o proceso se define como un conjunto de equipos o subsistemas y de otro conjunto de flujos de materia, calor y trabajo. A través de los cuales se conectan los equipos entre si y con el entorno de la planta.

Como se puede observar cada equipo tiene una función particular que ligada a la de los otros contribuye al objetivo de la producción. Esto equivale a definir la eficiencia de cada equipo o a la estructura productiva de la planta, a través de un balance de energía como se muestra a continuación:

i	SUBSISTEMA	EFICIENCIA	
		FUEL (F)	PRODUCTO (P)
1	Combustor	1	4 - 3
2	Compresor	7	2
3	Turbina	4 - 5	7 + 8
4	Intercambiador	5 - 6	3 - 2
5	Caldera de recuperación	6	9
	Planta de cogeneración	1	8 + 9

Figura 4.8 Estructura productiva de la planta de cogeneración. Adaptado de: Análisis termoeconómico de un sistema de cogeneración. Rev. Ing. Química. 1993.

Una de las tareas importantes que se le plantean al ingeniero encargado de administrar un sistema de cogeneración es valorar sus productos (calor y trabajo) si esto se realiza de manera correcta provocara un consumo racional de sus productos y en consecuencia reducirá al máximo el consumo del combustible.

En la siguiente tabla se muestran los datos correspondientes a analizar:

Flujo		(K)	(bar)	(kW)
		T	P	B
1	Gas natural	298,15	1,013	84.383
2	Aire (sal. compresor)	595,51	8,634	27.323
3	Aire (sal. intercamb.)	914,28	8,202	45.954
4	Gases (sal. combustor)	1.492,63	7,792	103.729
5	Gases (sal. turbina)	987,90	1,099	41.454
6	Gases (sal intercamb.)	718,76	1,066	20.572
7	Potencia (al compresor)	400,26	1,013	29.692
8	Potencia neta			30.000
9	Vapor	vap.sat.	20	12.748

Tabla 1.14 Valores para el diseño optimo de la planta de cogeneración. Adaptado de: Análisis termoeconómico de un sistema de cogeneración. Rev. Ing. Química. 1993.



El diagnóstico de la planta es muy útil tanto para el desarrollo de estrategias de optimización como para el diagnóstico de la operación. Se pueden aplicar numerosos criterios para determinar las mejores condiciones bajo las cuales se puede operar o diseñar un sistema, los criterios de estos dependen de la eficiencia del sistema de cogeneración.

Realizando el balance de energía obtenemos los resultados de (F y P):

(kW)

Equipo	F	P	I
Combustor	84.383	57.775	26.608
Compresor	29.692	27.323	2.369
Turbina	62.275	59.692	2.583
Intercambiador	20.882	18.631	2.251
Caldera de recuperación	20.572	12.748	7.824
<b>Planta de cogeneración</b>	<b>84.383</b>	<b>42.748</b>	<b>41.635</b>

Tabla 1.15 Resultados para el diseño óptimo de la planta de cogeneración. Adaptado de: Análisis termoeconómico de un sistema de cogeneración. Rev. Ing. Química. 1993.

Los beneficios de adoptar la metodología para el análisis del sistema de cogeneración de alta eficiencia pueden resumirse de la siguiente manera:

Para determinar la eficiencia de la planta de cogeneración se calcula de la siguiente forma:

$$\eta = P / F$$

de tal manera que se obtiene la eficiencia con estos resultados:

(kW)

Equipo	F	P	I	$\eta$
Combustor	84.383	57.775	26.608	0,685
Compresor	29.692	27.323	2.369	0,920
Turbina	62.275	59.692	2.583	0,958
Intercambiador	20.882	18.631	2.251	0,892
Caldera de recuperación	20.572	12.748	7.824	0,620
<b>Planta de cogeneración</b>	<b>84.383</b>	<b>42.748</b>	<b>41.635</b>	<b>0,507</b>

Tabla 1.16 Resultados de la eficiencia de la planta de cogeneración. Adaptado de: Análisis termoeconómico de un sistema de cogeneración. Rev. Ing. Química. 1993.





## Capítulo 5. Beneficios de la cogeneración eficiente

### 5.1 ¿Qué es la cogeneración eficiente?

La cogeneración eficiente es la generación de la energía eléctrica, conforme a lo establecido en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE), siempre que el proceso tenga una eficiencia superior a la mínima que establezca para tal efecto la comisión.

Las tres formas distintas de Cogeneración de Energía Eléctrica de acuerdo a la LSPEE son:

- I. La producción de energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas
- II. La producción directa o indirecta de energía eléctrica a partir de energía térmica no aprovechada en el proceso
- III. La producción directa o indirecta de energía eléctrica utilizando combustibles producidos en el proceso de que se trate

El nuevo esquema para los sistemas de cogeneración eficiente contempla lo siguiente:

- Cuando los excedentes se destinen al servicio público:
  - Pago por capacidad
  - Pago por energía entregada
- Cuando los excedentes se utilicen para una sociedad de autoabastecimiento:
  - Reconocimiento de capacidad
  - Intercambio de energía
  - Costos de porteo

### 5.2 Tipos de beneficios que se obtienen de la cogeneración

Los principales beneficios del desarrollo de la cogeneración son:

Para México

- Ahorro de energía primaria de combustibles nacionales
- Reducción de importación de combustibles
- Disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera
- Nuevas inversiones nacionales en el sector energético
- Desarrollo regional y creación de empleos
- Liberación de capacidad de la red y de las subestaciones eléctricas en el SEN



Para el Sistema Eléctrico Nacional

- Diferimiento de inversiones para nueva capacidad a instalar en el SEN
- Reducción de combustible para generación eléctrica en el SEN
- Reducción de pérdidas de transmisión y distribución en el SEN

Para los industriales

- Mayor disponibilidad y confiabilidad del suministro eléctrico, al contar con generación propia y respaldo de la red del SEN, evitando cortes de suministro que afectarían a la producción con su costo correspondiente
- Mejor calidad de energía, incrementando la vida útil de los equipos que se utilizan en los procesos
- Disminución de la factura energética (electricidad + combustible)
- Incremento de la competitividad por reducción de costos de producción y mejor calidad de la energía

### 5.3 Beneficios de la cogeneración eficiente

Los permisionarios que generen electricidad mediante un proceso de cogeneración que acrediten el criterio de eficiencia tendrán acceso a los siguientes instrumentos de regulación.

- Contrato de interconexión para centrales de generación eléctrica con cogeneración eficiente
  - Banco de energía: Es un mecanismo de intercambio de energía que busca reducir el problema de la intermitencia en la generación de energía eléctrica, aprovechando al máximo los recursos energéticos disponibles, para después intercambiarla en aquellos periodos en los que sea insuficiente la generación propia: la energía generada en cualquier periodo horario y no consumida por los usuarios puede ser acumulada en forma virtual y entregada en otros periodos horarios análogos, en periodos distintos en días o meses diferente.
  - Reconocimiento de capacidad: Se reconoce, además de la energía aportada, la capacidad aportada por la central de cogeneración en las horas de mayor demanda del SEN, con esto se disminuye la facturación eléctrica de las cargas del proyecto en cargos por demanda facturable del servicio público
- Convenio de servicio de transmisión de energía eléctrica mediante cogeneración eficiente
  - Pago de porteo por estampilla postal: Permite repartir los costos de la infraestructura de transmisión entre los participantes que hacen uso de la misma, de forma que los proyectos los conozcan anticipadamente y puedan realizar una planeación de su inversión a largo plazo. Para cada punto de carga, el cargo por el servicio de transmisión será el resultado de sumar los cargos para cada uno de los niveles de tensión requeridos.



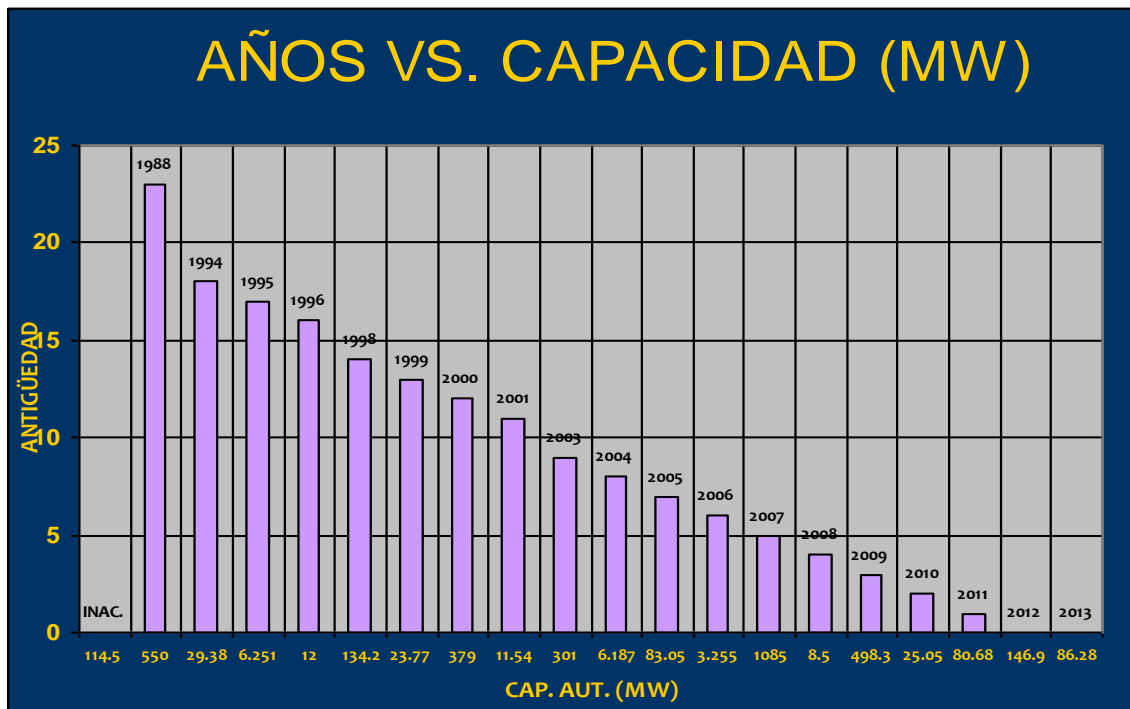
- Pago de contraprestaciones, en caso de poner a disposición de CFE la capacidad excedente  
Pago por KW/hr. entregado que incluye pago de energía y pago de capacidad

### CONCLUSIONES

La cogeneración para México representa una de las mayores oportunidades para reducir el consumo de energía; una de las estrategias más importantes para mejorar la eficiencia energética es aprovechar la energía disponible en los procesos de producción para generar la electricidad en forma eficiente.

Actualmente en el país se cuenta con un stock productivo con una antigüedad mayor a 15 años de lo que son las tecnologías aplicadas a los sistemas de cogeneración.

A continuación se presenta la siguiente gráfica



Gráfica 8. Antigüedad de operación. Generación propia. Adaptado de: "Comisión Reguladora de Energía (CRE)" 2012

Como se puede observar en la gráfica, la mayor parte de las tecnologías superan los 10 años de antigüedad y cerca del 40% rebasan los 15 años; por lo que debería producirse una pronta renovación de tecnología y por lo tanto existe la oportunidad de mejorar la eficiencia de los equipos que están en operación. Dicha evaluación permitiría la sustitución y/o modernización de dichos equipos.



Con la aplicación de tecnologías modernas de sistemas de cogeneración se produciría un incremento de eficiencia, aprovechando la oportunidad para mejorar la eficiencia térmica y eléctrica para equipos que ya cumplieron con su etapa de operación (15 años) además de una notable reducción en las emisiones a la atmósfera.

En la tabla siguiente se muestra todos los sectores nacionales involucrados con mayor número de permisos bajo la modalidad de cogeneración

SECTORES	# DE PERMISOS
PETROLERO	14
QUIMICO	11
PETROQUIMICO	10
PAPELERO	8
INDUSTRIAS DIVERSAS	8
ALIMENTOS	5
SERVICIOS	3
TEXTIL	3
AZUCARERO	2
MINERO	2
COMERCIO	1
FARMACEUTICA	1
MANUFACTURERO	1
MUNICIPAL	1
TURISMO	1
TOTAL	71

Tabla 1.17 Sectores participantes con mayor número de permisos. Generación propia. Adaptado de: Comisión Reguladora de Energía (CRE) 2012.

Como se puede observar en la tabla; el sector petrolero cuenta con un mayor número de permisos de generación de energía eléctrica bajo la modalidad de cogeneración 14 en total, seguido del sector químico con 11 y los sectores petroquímico y papelerero con 10 y 8 respectivamente.

Por lo cual resulta de gran relevancia e importancia que todos estos sectores que se hacen partícipes, se realice una evaluación de un diagnóstico energético en sus equipos y así determinar su eficiencia en su sistema; en dado momento que los permisionarios interesados deseen que se les acredite su sistema como de cogeneración eficiente, están en todo su derecho siempre y cuando cumplan con criterios de eficiencia establecidos por la comisión como se menciono anteriormente.

Para la evaluación de los sistemas de cogeneración es fundamental realizar un diagnóstico energético, dependiendo según su nivel de cada diagnóstico, nos permitiría saber con profundidad de un análisis energético detallado de los consumos y la forma en que se utiliza la energía.





El más recomendable por aplicar es el Diagnóstico Energético de Tercer Nivel (DEN-3) ya que es un análisis exhaustivo de las condiciones de operación y las bases de diseño de una instalación, mediante el uso de equipos especializados de medición y control, con la participación de especialistas de cada área y personal de ingeniería.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Barnés de Castro Francisco, "Cogeneración eficiente" Comisión Reguladora de Energía, (CRE). Secretaría de Energía, México, 2010.
2. Barnés de Castro Francisco, "Criterio de cogeneración eficiente y crédito de capacidad de fuentes intermitentes" Comisión Reguladora de Energía, (CRE). Secretaría de Energía, México, 2010.
3. Barnés de Castro Francisco, "Los desafíos y el potencial para las energías renovables y la cogeneración eficiente" Comisión Reguladora de Energía, (CRE). Secretaría de Energía, México, 2010.
4. Colombo Mauricio, Hernández María Rosa, Silveira José Luis. "Análisis termoeconómico de alternativas de cogeneración para un ingenio azucarero" Artículos Técnicos. Boletín Universidad Nacional de Tucuman, Argentina. 2001.
5. "Disposiciones generales para acreditar sistemas de cogeneración como de cogeneración eficiente" Comisión Reguladora de Energía, (CRE). Secretaría de Energía, México, 2012.
6. "Diagnósticos energéticos", Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), Secretaría de Energía, México, 1995.
7. "Diseño de incentivos para promover la cogeneración en México", Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, (CONUEE), GIZ. Secretaría de Energía, México, 2012.
8. "Esquemas de Cogeneración", Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), Secretaría de Energía, México, 1995.
9. "Estudio sobre cogeneración en el sector industrial en México", Comisión para el Uso Eficiente de la Energía, (CONUEE), CRE, GTZ. Secretaría de Energía, México, 2009.
10. Fernández M. Manuel F., Huante P. Liborio y Romo M. César A. "Sistemas de cogeneración", Artículos Técnicos. Boletín Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), México Abril-Junio. 2006.
11. Granados Rojas Francisco, "Marco Regulatorio de la Cogeneración de Energía Eléctrica" Comisión Reguladora de Energía, (CRE). Secretaría de Energía, México, 2012.
12. "Guía práctica de trámites y permisos para proyectos de cogeneración de energía eléctrica en México", Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, (CONUEE). Secretaría de Energía, México, 2012.
13. "Guía para elaborar un diagnóstico energético en instalaciones", Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), Secretaría de Energía, México, 2011.



14. “La cogeneración en México y Experiencias Internacionales”, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), Secretaría de Energía, México, 1995.
15. Lozano Serrano M. A., Serra de Renobales I., Valero Capilla A. “Análisis termoeconómico de un sistema de cogeneración” Artículos Técnicos. Boletín Universidad de Zaragoza, España. 1993.
16. Martínez Vivar Hector, “Curso básico para el ahorro de energía eléctrica”, ESM, SA. México, 2009.
17. “Metodología para el análisis de previabilidad en los sistemas de cogeneración”, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), Secretaría de Energía, Versión 2, México, 1999.
18. “Metodología para el cálculo de la eficiencia de los sistemas de cogeneración de energía eléctrica y los criterios para determinar la cogeneración eficiente” Comisión Reguladora de Energía, (CRE). Secretaría de Energía, México, 2011.
19. “Oportunidades de cogeneración eficiente”, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, (CONUEE). Secretaría de Energía, México, 2011.
20. “Propuesta de creación de COGENEREA México”, Comisión para el Uso Eficiente de la Energía, (CONUEE), CRE, GIZ. Secretaría de Energía, México, 2012.
21. “Termodinámica y sus Aplicaciones”, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), Secretaría de Energía, México, 1995.



## FUENTES ELECTRÓNICAS

<<http://www.conuee.gob.mx>> - Portal de Cogeneración

<<http://www.cre.gob.mx/>> - Permisos otorgados de generación eléctrica bajo la modalidad de cogeneración

<<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/>> - Portal de diagnósticos energéticos

<<http://www.energizaonline.com/>> - Portal de Eficiencia Energética Aplicada

<<http://www.ingenieriaenergeticaintegral.com/>> - Portal de diagnósticos energéticos



# Anexo 1

## Permisos de generación eléctrica



## Anexo 1

Actualmente un estudio realizado hasta Julio del 2012 la Comisión Reguladora de Energía tiene registrados 71 permisos bajo la modalidad de cogeneración que se describen en la siguiente tabla.

Núm.	PERMISIONARIO	MODALIDAD	FECHA DE OTORGAMIENTO	Año	NUMERO DE PERMISO	CAP. AUTORIZADA (MW)	ENERGIA AUTORIZADA (GWh/AÑO)	ENERGETICO PRIMARIO	ACTIVIDAD ECONOMICA	TIPO DE PLANTA (TECNOLOGIA)	ESTADO ACTUAL
1	FÁBRICA LA ESTRELLA, S.A. DE C.V.	COG.	06/09/94	1994	06/COG/94	8.381	55.50	GAS NATURAL	TEXTIL	TURBINA DE GAS Y TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
2	PRODUCTORA DE PAPEL, S.A. DE C.V.	COG.	20/07/94	1994	07/COG/94	15.000	72.18	GAS NATURAL	PAPELERO	TURBINA DE GAS Y TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
3	FERSINSA GB, S.A. DE C.V.	COG.	20/07/94	1994	08/COG/94	6.000	42.40	GAS NATURAL	ALIMENTOS	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
4	ALMIDONES MEXICANOS, S.A. DE C.V.	COG.	05/10/94	1994	12/COG/94	12.000	17.50	GAS NATURAL	ALIMENTOS	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
5	RHODIA FOSFATADOS DE MÉXICO, S.A. DE C.V.	COG.	01/03/95	1995	22/COG/95	6.250	44.00	GAS NATURAL	PETROQUIMICO	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION



6	ENERTEK, S.A. DE C.V.	COG.	24/05/96	1996	E/36/COG/96	128.000	1007.00	GAS NATURAL	PETROQUIMICO	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
7	ENERGÍA BIDARENA, S. DE R.L. DE C.V.	COG.	21/06/96	1996	E/46/COG/96	6.150	22.20	GAS NATURAL	PAPELERO	COMBUSTION INTERNA	EN OPERACION
8	PEMEX-GAS Y PETROQUÍMICA BÁSICA, COMPLEJO PROCESADOR DE GAS CACTUS	COG.	23/01/98	1998	E/73/COG/98	120.700	315.16	GAS NATURAL	PETROQUIMICO	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
9	PETROQUÍMICA MORELOS, S.A. DE C.V.	COG.	13/02/98	1998	E/74/COG/98	172.000	490.56	GAS NATURAL	PETROQUIMICO	TURBINA DE GAS Y TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
10	PETROQUÍMICA CANGREJERA, S.A. DE C.V.	COG.	13/02/98	1998	E/75/COG/98	163.500	762.00	GAS NATURAL	PETROQUIMICO	TURBINA DE GAS Y TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
11	PETROQUÍMICA PAJARITOS, S.A. DE C.V.	COG.	13/02/98	1998	E/76/COG/98	58.500	202.00	GAS NATURAL	PETROQUIMICO	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
12	STYROLUTION MEXICANA, S.A. DE C.V.	COG.	26/06/98	1998	E/96/COG/98	10.600	88.93	GAS NATURAL	QUIMICO	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
13	PAPELERA INDUSTRIAL POTOSINA, S.A. DE C.V.	COG.	09/10/98	1998	E/113/COG/98	6.530	35.37	GAS NATURAL	PAPELERO	TURBINA DE GAS Y TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
14	ZACAPU POWER, S. DE R.L. DE C.V.	COG.	09/08/99	1999	E/143/COG/99	10.000	31.54	COMBUSTOLEO	TEXTIL	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION



15	GRUPO CELANESE, S.A. DE C.V., COMPLEJO OCOTLÁN	COG.	09/08/99	1999	E/144/COG/99	13.300	56.94	COMBUSTOLEO	TEXTIL	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
16	COMPANÍA DE NITRÓGENO DE CANTARELL, S.A. DE C.V.	COG.	03/09/99	1999	E/148/COG/99	362.600	2,452.80	GAS NATURAL Y DIESEL	PETROLERO	TURBINA DE GAS Y COMBUSTION INTERNA	EN OPERACION
17	ENERGIA ELÉCTRICA DE QUINTANA ROO, S.A. DE C.V.	COG.	27/09/99	1999	E/151/COG/99	114.500	848.84	GAS NATURAL	TURISMO	CICLO COMBINADO	INACTIVO
18	CELULOSA DE FIBRAS MEXICANAS, S.A. DE C.V.	COG.	05/11/99	1999	E/154/COG/99	6.641	37.27	GAS NATURAL	PAPELERO	TURBINA DE GAS Y TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
19	MEXICHEM RESINAS VINÍLICAS, S. A. DE C. V.	COG.	07/01/00	2000	E/157/COG/2000	16.359	140.83	GAS NATURAL	QUIMICO	CICLO COMBINADO	EN OPERACION
20	TRACTEBEL ENERGÍA DE MONTERREY, S. DE R.L. DE C.V.	COG.	02/06/00	2000	E/167/COG/2000	284.016	2,265.00	GAS NATURAL	INDUSTRIAS DIVERSAS	CICLO COMBINADO	EN OPERACION
21	AGROENERGÍA, S.A. DE C.V.	COG.	14/08/00	2000	E/175/COG/2000	12.000	63.83	REACCION QUIMICA EXOTERMICA	QUIMICO	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
22	BECTON DICKINSON DE MÉXICO, S.A. DE C.V.	COG.	09/02/01	2001	E/184/COG/2001	6.540	40.87	GAS NATURAL	FARMACEUTICA	COMBUSTION INTERNA	EN OPERACION





PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES PARA EL AHORRO  
DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE COGENERACIÓN

2013

23	INDUSTRIAS QUÍMICAS FALCON DE MÉXICO S.A DE C.V.	COG.	12/03/01	2001	E/187/COG/2001	5.000	31.50	DIESEL	QUIMICO	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
24	BIOENERGÍA DE NUEVO LEÓN, S.A. DE C.V.	COG.	24/10/02	2002	E/217/COG/2002	16.960	100.29	BIOGAS	MUNICIPAL	COMBUSTION INTERNA	EN OPERACION
25	TRACTEBEL ENERGÍA DE PÁNUCO, S.A. DE C.V.	COG.	11/09/03	2003	E/267/COG/2003	27.530	212.25	GAS NATURAL	QUIMICO	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
26	PRUP, S.A. DE C.V.	COG.	18/03/04	2004	E/293/COG/2004	5.216	35.31	GAS NATURAL	INDUSTRIAS DIVERSAS	COMBUSTION INTERNA	EN OPERACION
27	CONSERVAS LA COSTEÑA, S.A. DE C.V. Y JUGOMEX, S.A. DE C.V.	COG.	03/06/04	2004	E/297/COG/2004	0.971	8.11	BIOGAS Y GAS NATURAL	ALIMENTOS	COMBUSTION INTERNA	EN OPERACION
28	CARTONES PONDEROSA, S.A. DE C.V.	COG.	19/05/05	2005	E/325/COG/2005	19.992	161.12	COMBUSTOLEO Y DIESEL	PAPELERO	COMBUSTION INTERNA	EN OPERACION
29	GENERADORA PETROCEL, S.A. DE C.V.	COG.	09/06/05	2005	E/327/COG/2005	16.380	137.59	VAPOR	QUIMICO	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
30	PRODUCTORA NACIONAL DE PAPEL, S.A. DE C.V.	COG.	09/06/05	2005	E/331/COG/2005	13.088	105.47	COMBUSTOLEO Y DIESEL	PAPELERO	COMBUSTION INTERNA	EN OPERACION
31	PIASA COGENERACIÓN, S.A. DE C.V.	COG.	04/08/05	2005	E/338/COG/2005	40.000	145.08	BAGAZO DE CAÑA	INDUSTRIAS DIVERSAS	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION





32	COBIELEC, S.A. DE C.V.	COG.	04/08/05	2005	E/339/COG/2005	2.800	20.10	GAS NATURAL	INDUSTRIAS DIVERSAS	COMBUSTION INTERNA	EN OPERACION
33	EL PALACIO DE HIERRO, S.A. DE C.V., SUCURSAL MONTERREY	COG.	30/12/05	2005	E/483/COG/2005	1.200	4.70	GAS NATURAL	COMERCIO	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
34	PRODUCTOS ROCHE, S.A. DE C.V., PLANTA TOLUCA	COG.	30/03/06	2006	E/512/COG/2006	2.055	8.57	GAS NATURAL	QUIMICO	COMBUSTION INTERNA	EN OPERACION
35	PROCTER & GAMBLE MANUFACTURA, S. DE R.L. DE C.V.	COG.	31/08/06	2006	E/543/COG/2006	59.800	399.73	GAS NATURAL	MANUFACTURERO	CICLO COMBINADO	EN OPERACION
36	PROCTER & GAMBLE MANUFACTURA, S. DE R.L. DE C.V., PLANTA TALISMÁN	COG.	30/11/06	2006	E/566/COG/2006	6.500	37.60	GAS NATURAL	INDUSTRIAS DIVERSAS	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
37	PEMEX- PETROQUÍMICA, COMPLEJO PETROQUÍMICO ESCOLÍN	COG.	22/02/07	2007	E/586/COG/2007	48.000	336.00	GAS NATURAL	PETROQUIMICO	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
38	PEMEX-GAS Y PETROQUÍMICA BÁSICA, COMPLEJO PROCESADOR DE GAS CD. PEMEX	COG.	22/02/07	2007	E/587/COG/2007	59.000	495.60	GAS NATURAL	PETROQUIMICO	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
39	INDUSTRIAS DERIVADAS DEL	COG.	08/03/07	2007	E/602/COG/2007	1.500	11.52	GAS NATURAL	QUIMICO	TURBINA DE	EN OPERACION



PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES PARA EL AHORRO  
DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE COGENERACIÓN

2013

	ETILENO, S.A. DE C.V.									VAPOR	
40	PEMEX-GAS Y PETROQUÍMICA BÁSICA, COMPLEJO PROCESADOR LA VENTA	COG.	08/03/07	2007	E/603/COG/2007	22.245	194.86	GAS NATURAL	PETROQUIMICO	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
41	PEMEX-PETROQUÍMICA, COMPLEJO PETROQUÍMICO INDEPENDENCIA	COG.	26/03/07	2007	E/605/COG/2007	54.000	404.42	GAS NATURAL Y COMBUSTOLEO	PETROLERO	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
42	PEMEX-PETROQUÍMICA, COMPLEJO PETROQUÍMICO COSOLEACAQUE	COG.	26/03/07	2007	E/606/COG/2007	59.600	454.00	GAS NATURAL Y GAS RESIDUAL	PETROLERO	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
43	PEMEX-REFINACIÓN, REFINERÍA GENERAL LÁZARO CÁRDENAS	COG.	26/04/07	2007	E/608/COG/2007	64.000	297.84	GAS NATURAL Y COMBUSTOLEO	PETROLERO	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
44	PEMEX-REFINACIÓN, ING. ANTONIO M. AMOR	COG.	26/04/07	2007	E/609/COG/2007	142.750	524.00	GAS NATURAL Y COMBUSTOLEO	PETROLERO	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
45	PEMEX-REFINACIÓN, REFINERÍA FRANCISCO I. MADERO	COG.	26/04/07	2007	E/611/COG/2007	129.000	667.00	GAS NATURAL Y COMBUSTOLEO	PETROLERO	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION





46	PEMEX-REFINACIÓN, REFINERÍA ING. HECTOR LARA SOSA	COG.	26/04/07	2007	E/612/COG/2007	79.000	368.84	GAS NATURAL Y COMBUSTOLEO	PETROLERO	TURBINA DE VAPOR Y TURBOEXPANSOR	EN OPERACION
47	PEMEX-EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN, PLANTA ELÉCTRICA CÁRDENAS	COG.	14/06/07	2007	E/638/COG/2007	42.000	338.68	GAS RESIDUAL	PETROLERO	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
48	PEMEX-EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN, TERMINAL MARÍTIMA DOS BOCAS	COG.	14/06/07	2007	E/639/COG/2007	96.420	438.12	GAS RESIDUAL	PETROLERO	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
49	PEMEX-REFINACIÓN, REFINERÍA GENERAL LÁZARO CÁRDENAS, PROYECTO RECONFIGURACIÓN	COG.	14/06/07	2007	E/640/COG/2007	40.000	315.36	GAS NATURAL Y COMBUSTOLEO	PETROLERO	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
50	PEMEX-REFINACIÓN, REFINERÍA ING. ANTONIO DOVALÍ JAIME	COG.	14/06/07	2007	E/641/COG/2007	115.200	581.90	GAS NATURAL Y COMBUSTOLEO	PETROLERO	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
51	PEMEX-REFINACIÓN, REFINERÍA MIGUEL HIDALGO	COG.	19/07/07	2007	E/662/COG/2007	133.700	670.40	GAS NATURAL Y COMBUSTOLEO	PETROLERO	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION



PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES PARA EL AHORRO  
DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE COGENERACIÓN

2013

52	MET- MEX PEÑÓLES, S.A. DE C.V.	COG.	13/09/07	2007	E/681/COG/2007	7.000	47.52	VAPOR	MINERO	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
53	PEMEX-GAS Y PETROQUÍMICA BÁSICA, COMPLEJO PROCESADOR DE GAS NUEVO PEMEX	COG.	23/04/09	2009	E/811/COG/2009	432.000	2628.00	GAS NATURAL	PETROLERO	TURBINA DE GAS Y TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
54	BIOELÉCTRICA DE OCCIDENTE, S. A. DE C. V.	COG.	04/06/09	2009	E/822/COG/2009	35.360	117.34	BAGAZO DE CAÑA	AZUCARERO	TURBINA DE VAPOR	EN CONSTRUCCION
55	ENERGÍA SAN PEDRO, S. C. DE R. L. DE C. V	COG.	27/08/09	2009	E/830/COG/2009	2.000	16.64	GAS NATURAL	SERVICIOS	TURBINA DE GAS	EN CONSTRUCCION
56	DESTILADORA DEL PAPALOAPAN, S.A. DE C.V.	COG.	21/01/10	2010	E/839/COG/2010	8.000	27.20	BAGAZO DE CAÑA	QUIMICO	TURBINA DE VAPOR	EN CONSTRUCCION
57	ATLATEC, S. A. DE C. V.	COG.	03/06/10	2010	E/854/COG/2010	1.049	7.35	BIOGAS	SERVICIOS	COMBUSTION INTERNA	EN OPERACION
58	COMPANÍA CERVECERA DE COAHUILA, S. A. DE C. V.	COG.	03/06/10	2010	E/855/COG/2010	16.000	126.14	COMBUSTOLEO	ALIMENTOS	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
59	TALA ELECTRIC, S. A. DE C. V.	COG.	28/10/10	2010	E/871/COG/2010	25.000	99.70	BAGAZO DE CAÑA	AZUCARERO	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
60	POLIOLES, S. A. DE C. V.	COG.	16/12/10	2010	E/875/COG/2010	2.500	16.75	GAS NATURAL	PETROQUIMICO	TURBINA DE VAPOR	EN OPERACION
61	BIO PAPPAL, S. A. B.	COG.	03/03/11	2011	E/882/COG/2011	22.860	133.29	GAS NATURAL	PAPELERO	TURBINA DE GAS	EN





	DE C. V.										CONSTRUCCION
62	ATLATEC, S. A. DE C. V., PLANTA EL AHOADO	COG.	14/04/11	2011	E/885/COG/2011	2.852	21.20	BIOGAS	SERVICIOS	COMBUSTION INTERNA	EN CONSTRUCCION
63	SIGMA ALIMENTOS CENTRO, S. A. DE C. V., PLANTA ATITALAQUIA	COG.	24/08/11	2011	E/896/COG/2011	3.183	19.72	GAS NATURAL	ALIMENTOS	COMBUSTION INTERNA	EN OPERACION
64	BIO PAPPEL, S. A. B. DE C. V., PLANTA ATENQUIQUE	COG.	08/09/11	2011	E/900/COG/2011	15.500	42.02	LICOR NEGRO Y COMBUSTOLEO	PAPELERO	TURBINA DE VAPOR	EN CONSTRUCCION
65	PEMEX-GAS Y PETROQUÍMICA BÁSICA, COMPLEJO PROCESADOR DE GAS BURGOS	COG.	14/09/11	2011	E/901/COG/2011	19.500	135.90	GAS RESIDUAL	PETROLERO	TURBINA DE GAS	EN OPERACION
66	MINERA Y METALÚRGICA DEL BOLEO, S. A. DE C. V.	COG.	08/12/11	2012	E/910/COG/2011	46.000	378.00	VAPOR	MINERO	TURBINA DE VAPOR	EN CONSTRUCCION
67	DESTILERIA DEL GOLFO, S. A. DE C. V.	COG.	12/01/12	2012	E/913/COG/2012	8.000	34.56	BAGAZO DE CAÑA	QUIMICO	TURBINA DE VAPOR	EN CONSTRUCCION
68	TLALNEPANTLA COGENERACIÓN, S. A. P. I. DE C. V.	COG.	12/01/12	2012	E/914/COG/2012	28.000	233.02	GAS NATURAL	INDUSTRIAS DIVERSAS	TURBINA DE GAS	EN CONSTRUCCION
69	HUIXTLA ENERGÍA, S. A DE C. V.	COG.	26/01/12	2012	E/918/COG/2012	12.000	34.91	BAGAZO DE CAÑA	INDUSTRIAS DIVERSAS	TURBINA DE VAPOR	EN CONSTRUCCION



PROCESO DE IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES PARA EL AHORRO  
DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE COGENERACIÓN

2013

70	GRUPO CELANESE, S. DE R. L. DE C. V., COMPLEJO CANGREJERA	COG.	24/04/12	2012	E/924/COG/2012	14.990	99.19	GAS NATURAL	QUIMICO	TURBINA DE GAS	EN CONSTRUCCION
71	ASOCIACIÓN DE COLONOS DEL FRACCIONAMIENTO VALLE REAL, A. C.	COG.	26/04/12	2012	E/925/COG/2012	0.200	1.30	GAS NATURAL	INDUSTRIAS DIVERSAS	TURBINA DE GAS	EN CONSTRUCCION



## Anexo 2

# Resumen Ejecutivo

## Estudio sobre cogeneración en el sector industrial en México





## Anexo 2

### Antecedentes:

La cogeneración se ha desarrollado muy poco en México. La pequeña y mediana industrias, con excepción del sector paplero, solamente instalaron, entre 1992 y 2007, 166 MW en nueve sistemas, con un promedio de 8.7 MW por sistema. Las condiciones del entorno no han sido lo suficientemente favorables, o bien, no se ha logrado informar/motivar a los industriales para realizar este tipo de proyectos.

El estimado del potencial de cogeneración en México ha sido realizado por CONUEE en varias ocasiones, siendo el último el del año de 2007. Es por esta razón que resultaba de gran importancia actualizar la información y estimar el potencial de cogeneración actual.

En este contexto, CONUEE junto con la CRE y contando con el apoyo de la GTZ, solicitaron la elaboración del presente estudio, el cual tiene como objetivo principal:

Establecer acciones, dentro de las estrategias y líneas de acción del Programa Sectorial de Energía 2007-2012, para lograr en el corto plazo el desarrollo efectivo de la cogeneración en México.

Dentro de las estrategias concebidas para alcanzar esta situación se incluyen líneas de acción tendientes al desarrollo de políticas públicas y fomentar e impulsar a la cogeneración eficiente, dentro de un marco regulatorio que la aliente.

### Potencial de cogeneración en México

En el capítulo tres de este estudio se efectúa un estimado del “Potencial de cogeneración en México”, considerando los sectores industriales con demandas mayores a 1,000 kW y factores de carga mayores a un 50%, así como el caso particular de los ingenios azucareros y PEMEX.

Se efectuaron análisis del potencial “teórico”, el potencial técnicamente factible y el económicamente factible, con y sin excedentes al SEN.

El estudio estima que el potencial nacional máximo de cogeneración, económicamente factible con excedentes al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), es de 10,164 MW, como se muestra en la tabla resumen siguiente:



Sector	Máximo teórico (MW)	Técnicamente factible (MW)	Económicamente factible (MW)	Potencial máximo con excedentes en la industria (MW)
Industrial	2,630	2,286	1,989	6,085
Azucarero	979	979	979	979
PEMEX	3,100	3,100	3,100	3,100
TOTAL	6,710	6,365	6,069	10,164

### Escenarios para el desarrollo de la cogeneración en México

El estudio establece también que no es posible desarrollar todo el potencial de cogeneración identificado, en el corto y mediano plazo. De esta manera, para estimar los beneficios derivados del desarrollo de la cogeneración, plantea cuatro escenarios, como se indica en la tabla siguiente:

Sector		Escenario 1 (Mínimo)	Escenario 2 (Bajo)	Escenario 3 (Medio)	Escenario 4 (Máximo)
Industrial	% <sup>1</sup>	10	25	60	80
Azucarero	%	-	-	30	50
	Capacidad desarrollada MW				
Industrial	MW	199	497	3,651	4,868
PEMEX	MW	650	650	3,100	3,100
Azucarero	MW	-	-	294	490
TOTAL	MW <sup>2</sup>	849	1,147	7,045	8,457

Estos escenarios consideran la eliminación progresiva de ciertas barreras existentes en el marco legal y regulatorio, así como en los aspectos restrictivos del suministro de combustibles. Proponen también una serie de instrumentos de promoción e incentivos, tanto ambientales como económicos, fiscales y culturales, para su fomento.

1 Factor estimado de desarrollo respecto del potencial "económicamente factible"

2 Capacidad.



De este modo, se estimó que el potencial nacional de cogeneración que podría desarrollarse en México varía desde un mínimo de 849 MW a un máximo de 8,457 MW para los sectores estudiados.

La visión para el año 2030 es que el sector energético mexicano opere con políticas públicas y un marco fiscal, laboral y regulatorio que permita contar con una oferta diversificada, suficiente, continua, de alta calidad y a precios competitivos; maximizar la renta energética; asegurar, al mismo tiempo, un desarrollo sostenible en términos económicos, sociales y ambientales; y lograr que el sector aproveche las tecnologías disponibles y desarrolle sus propios recursos tecnológicos y humanos.

### **Beneficios de la cogeneración para México**

El desarrollo de la cogeneración permitiría utilizar menos combustibles para obtener la misma energía en forma de calor y electricidad (prestaciones), con importantes beneficios adicionales, tanto ambientales como económicos. En el caso particular de México, los principales beneficios por el desarrollo de la cogeneración son:

- Ahorro de energía primaria de combustibles nacionales
- Reducción en la importación de combustibles
- Disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.
- Nuevas inversiones, desarrollo regional y creación de empleos
- Liberación de capacidad de la red y de las subestaciones eléctricas en el SEN
- Reducción de pérdidas de transmisión, transformación, y distribución en el SEN

### **Ahorro de energía primaria y reducción de emisiones de GEI**

La Secretaría de Energía estima que las importaciones de gas natural crecerán 92.6% de 2006 a 2016, registrando un volumen de 1,962 mmPCD, de los cuales 1,500 mmPCD provendrán de contratos de GNL en tres terminales de regasificación que se contemplan en el periodo de análisis.

El cálculo de ahorro de gas natural como consecuencia de implementar proyectos de cogeneración en el escenario máximo, significaría una reducción de importación de este energético de 556 mmPCD para la industria y una sustitución de gas natural en PEMEX de 890 mmPCD. Esto daría un total de 1,446 mmPCD, lo que significaría un 74% de las importaciones proyectadas.

El cálculo realizado arroja adicionalmente un ahorro de 593 miles de m<sup>3</sup> de combustóleo por año en el sector azucarero.

Con las estimaciones anteriores y considerando las relaciones de emisión de CO<sub>2</sub> por tipo de combustible, se estimó que con el desarrollo de la cogeneración bajo el escenario planteado, se tendrá una reducción de emisiones equivalente a 11,992 miles de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales.



### Beneficios para el SEN

**Inversiones:** El desarrollo de la Cogeneración en el “escenario medio”, evitará instalar capacidad de nuevas plantas de generación en el SEN por 5,872 MW. Esto permitirá mayor margen de planeación del sector eléctrico.

Adicionalmente esta reducción de capacidad producirá un ahorro de generación en el SEN de 38,629 GWh /año.

**Reducción de pérdidas de transmisión y distribución:** La cogeneración además de ahorrar energía primaria reduce las pérdidas en transmisión y distribución porque las plantas de cogeneración quedan localizadas en los centros de consumo.

En la generación eléctrica convencional, las plantas se localizan lejos de los centros de consumo con las consecuentes pérdidas de transmisión y distribución. La Secretaría de Energía en su publicación de indicadores del Sector Eléctrico Nacional (con datos integrados de CFE a marzo de 2008), indica que se tienen pérdidas de transmisión y distribución del 18.2%.

Con este indicador y con la reducción de energía que se dejaría de transmitir por el SEN se calcula para el “escenario medio”, un ahorro adicional del SEN de 4,743 GWh por año.

### Beneficios asociados a la generación distribuida

La experiencia internacional ha demostrado que al contar con generación distribuidas, como es el caso de los proyectos de cogeneración se obtiene:

- Una mejora en la capacidad para mantener operando en sincronismo las unidades generadoras, inmediatamente después de una contingencia crítica de generación o transmisión, por lo que estos proyectos facilitarían el apoyo durante emergencias e incrementarían la confiabilidad de la operación
- Se mejora la posibilidad de mantener el voltaje y la frecuencia dentro de los rangos aceptables, con el correspondiente aseguramiento de la calidad del servicio
- Igual, o mejor, confiabilidad por reducción del riesgo esperado en el suministro de la energía, imposible de ofrecer si existen posibles fallas de los elementos del sistema

### Beneficios asociados a nuevas inversiones y creación de empleo

El estudio concluye que la inversión que ocurriría en el “escenario medio” de desarrollo de la cogeneración ascendería a unos 11,256 millones de USD.

De esta inversión se tendrá una inversión extranjera directa cercana a los 7,000 millones de USD, una derrama en materiales, construcción e ingeniería nacional cercana a los 4,000 millones de USD y la creación de empleos con un estimado de cerca de 12,000 plazas en ingeniería nacional y de 100,000 plazas en la construcción.



**Beneficios para las empresas que operen con sistemas de cogeneración**

Adicionalmente, existen beneficios tangibles para las empresas que operen con sistemas de cogeneración, tales como:

- Mayor eficiencia y confiabilidad de la energía utilizada en sus procesos
- Disminución de la factura energética (electricidad y combustible)
- Mejor calidad de la energía utilizada
- Incremento de competitividad por reducción de costos de producción.



## Anexo 3

# Guía para elaborar un diagnóstico energético en instalaciones



## Anexo 3

### 1. Antecedentes

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Energía, a partir de la entrada en vigor de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, publicada el 28 de noviembre de 2008.

Su objetivo es promover la eficiencia energética y constituirse como órgano de carácter técnico, en materia de aprovechamiento sustentable de la energía.

Una de sus principales funciones es brindar Asesoría Técnica en materia de ahorro y uso eficiente de energía, a las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, así como a los gobiernos de los estados y municipios que lo soliciten.

Así mismo, el artículo 18 del Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2011, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 2010, dispone que: “Las dependencias y entidades, como resultado de la aplicación de las disposiciones de austeridad y disciplina del gasto de la Administración Pública Federal, deberán destinar recursos de sus respectivos presupuestos para dar cumplimiento a las acciones previstas en los programas de eficiencia energética que permitan optimizar el uso de energía en sus inmuebles, flotas vehiculares e instalaciones”.

Para tal efecto, la CONUEE publicó el 11 de enero del 2011 en el DOF, el protocolo de actividades que deberán observar las dependencias y entidades para la elaboración de sus programas anuales de eficiencia energética.

El punto 10 del protocolo hace referencia al Programa ([www.conuee.gob.mx/apf](http://www.conuee.gob.mx/apf)), el cual indica que sin carácter limitativo, las dependencias y entidades deberán considerar dentro de su Programa específico, los siguientes elementos:

i. Diagnósticos energéticos: elaborar un diagnóstico energético preliminar en cada uno de sus inmuebles, flotas vehiculares y/o instalaciones, a fin de conocer su situación energética actual y las oportunidades de mejora operacional y tecnológica, así como para determinar los potenciales de ahorro de energía e inversiones requeridas. El diagnóstico podrá ser realizado por personal propio de la dependencia y/o entidad o ser encargado a consultores externos.

i.1. Las dependencias y entidades que ya cuentan con un diagnóstico energético integral, deberán entregarlo a la Comisión con el Programa anual 2011, para su revisión y aprobación;



ii. Las dependencias y entidades que no cuentan con un diagnóstico energético integral, tienen hasta el último día del mes de junio de 2011 para su elaboración y envío a la Comisión. El alcance y contenido mínimo se puede consultar en el Sitio de Internet [www.conuee.gob.mx/apf](http://www.conuee.gob.mx/apf) (este documento).

## 2. ¿Qué es un diagnóstico energético?

El diagnóstico energético es el instrumento imprescindible para saber cuánto, cuándo, cómo, dónde y por qué se consume la energía, así como la forma para establecer el grado de eficiencia en su utilización.

Para ello, se requiere, tanto de una inspección minuciosa de las instalaciones como de un análisis energético detallado de los consumos y la forma en que se usa la energía.

Las medidas que se implementen como resultado del diagnóstico energético, permitirán alcanzar ahorros significativos en el corto, mediano y largo plazos.

## 3. ¿Cuáles son los beneficios de un diagnóstico energético?

Cuando se realiza un diagnóstico energético se cuenta con la información para:

- Conocer el comportamiento y uso de la energía
- Evaluar cuantitativa y cualitativamente la energía que se consume
- Detectar áreas de oportunidad de ahorro y uso eficiente de energía
- Cuantificar los potenciales de ahorro de energía
- Analizar de manera detallada las instalaciones, a fin de estructurar propuestas técnicas viables, para ahorrar energía en los diversos sistemas eléctricos y térmicos
- Determinar la eficiencia energética de la dependencia o entidad en términos de índices energéticos
- Establecer un catálogo de acciones y medidas de ahorro
- Estimar la inversión requerida para la aplicación de las medidas de ahorro
- Determinación de beneficios energéticos, ambientales y económicos.





#### 4. ¿Cómo se clasifican las medidas de ahorro y uso eficiente de la energía?

Las medidas para el ahorro y el uso eficiente de la energía se clasifican en tres tipos:

- i. Medidas operativas
- ii. Medidas educativas
- iii. Medidas tecnológicas o de inversión

**4.1. Medidas Operativas.-** Son aquellas que no requieren inversión o ésta no es significativa; se basan en el desarrollo y aplicación de medidas operativas y/o administrativas que logren un ahorro de energía.

**4.2. Medidas Educativas.-** Se refiere a las actividades que promueve la dependencia o entidad para la capacitación y promoción de mejores prácticas, con el objeto ahorrar y hacer un uso eficiente de la energía, por parte del personal de la dependencia o entidad.

**4.3. Medidas de Inversión.-** En este rubro se consideran aquellas acciones que requieren de inversiones en equipos o materiales, de algún monto importante, para alcanzar ahorros importantes de energía.

#### 5. ¿En qué consiste un Diagnóstico Energético Integral?

En el protocolo de actividades en la sección de Instalaciones, 13.3.6 indica el Diagnóstico energético a entregar:

##### 13.3.6 Metas de ahorro

La meta de ahorro será el potencial determinado en el diagnóstico energético integral realizado en cada una de las instalaciones prorrateado en los siguientes 5 años, fecha en que se deberá alcanzar la línea base, es decir el consumo óptimo.

El diagnóstico energético proporciona un análisis completo de toda la parte energética de la dependencia, tanto de equipos y aparatos como de sistemas auxiliares, así como los detalles operativos de cada uno de ellos y de manera integral.

En un diagnóstico energético integral la medición de los parámetros térmicos y eléctricos de los principales equipos consumidores de energía es fundamental, en el tiempo y de forma integral.

El estudio tiene como propósito:

- Identificar el consumo por usos finales de energía térmica y eléctrica en las instalaciones



- Establecer el nivel de eficiencia de su utilización por equipos, aparatos, sistemas y procesos, en términos de índices energéticos, y
- Proponer las medidas de uso eficiente de la energía de forma integral; determinar los beneficios energéticos, económicos, ambientales, así como establecer la inversión requerida para su aplicación

## 6. Principales actividades a realizar en un diagnóstico energético

Para llevar a cabo con éxito un diagnóstico energético se deben de realizar al menos las siguientes acciones:

- i. Planear los recursos y el tiempo para su realización
- ii. Recopilar información (en el sitio)
- iii. Realizar mediciones puntuales
- iv. Análisis de datos

A continuación se detallan las principales actividades en las diferentes acciones.

### 6.1 Planear los recursos y el tiempo para su realización.

- Revisión de la información de las condiciones de operación del diseño actualizado de los equipos consumidores de energía térmica y eléctrica.
- Identificación y selección de la instrumentación que será utilizada en las mediciones, asegurándose que operen adecuadamente (proporcionan la información requerida y cuentan con la precisión y exactitud requerida)
- Elaborar un cronograma de trabajo en el que se indiquen las fechas en que se reportarán avances al responsable.

### 6.2 Recopilar información (en el sitio)

#### Descripción del Proceso

- Incluir un esquema de energéticos que muestre las corrientes de energía y los principales equipos. Consumo, generación, porteo de energía. En el límite de baterías.
- Describir brevemente el proceso o servicio de la instalación, incluyendo todos los energéticos que se utilizan en el proceso: Gas Natural, gas residual, gas LP, combustóleo, diesel, carbón, CO, etc.



- Incluir los casos de operación que pueden influir en la Eficiencia Energética de la planta. (Paro no programados, baja producción, falta de mantenimiento mayor, catalizador gastado, etc.).

### Situación Energética

- Incluir en una tabla, la lista de los energéticos empleados, incluyendo energéticos residuales, el total de consumo de energía del año anterior que utilizó la planta, en unidades de masa/volumen/electricidad y su equivalente en energía, expresando el porcentaje de energía que representa cada uno.

Obtener el consumo de energía térmico y eléctrico en porcentaje.

Incluir el costo total anual de cada uno y el global.

- Incluir una lista los productos / servicio que se tiene en la planta, y su producción /manejo/venta global para el año anterior, en las unidades que determine la instalación.

- Incluir los indicadores del consumo de energía ICE por sistema térmico, eléctrico y total, desde el año 2008. Incluir las graficas del ICE, para el año anterior, por los sistemas de energía que debe reportar la instalación, con años anteriores. Con base en la gráfica describir los casos de operación que pueden influir en la eficiencia energética de la planta. (Paro no programados, baja producción, falta de mantenimiento, catalizadores agotados, cambio en las especificaciones del producto).

- Incluir en una tabla, la lista de los energéticos que utiliza la planta, incluyendo energéticos, residuales, el total de consumo de energía del año anterior, en unidades de masa/volumen/electricidad y su equivalente en energía, y económico, expresando el porcentaje de energía que representa cada uno. Incluir una lista los productos / servicio que se tiene en la planta, y su producción/manejo/venta global para el año anterior, en las unidades que determine la instalación.

Incluir los indicadores del consumo de energía ICE por sistema térmico, eléctrico y total.

Incluir la grafica del ICE, para el año anterior, por los sistemas de energía que debe reportar la instalación, con años anteriores.

### 6.3. Realizar mediciones puntuales.

- Se deberán realizar mediciones que permitan conocer los consumos de energía térmica y electricidad, de la instalación.
- Para el análisis de las mediciones, deberán contar con equipo adecuado para la medición de los siguientes parámetros:



- o Se debe de contar con la composición del combustible.
- o Consumo de energía térmica y eléctrica de los equipos consumidores de energía.
- o Medición de gases de combustión: Temperatura, % de oxígeno, % de Monóxido de Carbono, % de Bióxido de carbono.
- o Comprobar la operación de equipos importantes, logrando una mejor base para las estimaciones de ahorros potenciales y proporcionando una idea objetiva de la eficiencia de la planta

#### 6.4 Analizar los datos recabados.

- Definición, en función de la información obtenida, de un conjunto de medidas de ahorro de energía
- Preparar índices de consumo de energía
- Evaluación económica de las medidas propuestas
- Jerarquización de proyectos y alternativas resultantes de los estudios
- Determinación de los potenciales de ahorro energético, ambiental y económico
- Determinación de los índices energéticos de la instalación
- Recomendaciones y Medidas de Ahorro

#### 7. Información que debe arrojar un diagnóstico energético.

Al término del diagnóstico energético, la dependencia o entidad deberá contar con un informe que le proporcione al menos la siguiente información:

##### Potencial de Ahorro

- Incluir el potencial de ahorro de energía de la instalación, separado por sistema: térmico y eléctrico. El potencial de ahorro de energía debe de considerar la operación de la planta como: Paros programados, paros no programados, producción, mantenimiento, catalizadores, etc.

##### Eficiencia de Equipo

- Incluir en una tabla, el equipo consumidor de energía. Incluyendo la eficiencia de diseño y la de operación.



### Medidas de Ahorro

- Describir por equipo cada medida de ahorro de energía, incluyendo:
  - o Descripción breve de la medida
  - o Ahorro energético
  - o Eficiencia posterior del equipo
  - o Inversión
  - o TREMA
  - o Beneficio costo
  - o Valor presente neto
  - o Tasa Interno de retorno
  - o Tiempo de recuperación

### Plan de trabajo y plan de acción

- Estrategia de implementación de medidas

### Anexos

- Cotización del equipo por parte de los fabricantes.
- Censo detallado de equipo Principal. (Hoja de Datos Electrónica)
- Costos de energéticos, gas, combustóleo, diesel, carbón, vapor, electricidad.
- Mediciones
- Herramientas de Evaluación
- Costo del diagnóstico energético, así como por quién fue realizado, por la Instalación o por un consultor

### 8. Programa de actividades.

Con base en la información que arroje el diagnóstico energético, la dependencia o entidad deberá realizar un programa para los próximos cinco años, el cual detalle:



- Acciones Operativas
- Acciones Educativas
- Acciones de Inversión
- Acciones de seguimiento (supervisión y mantenimiento).

### **9. Contenido mínimo del informe a entregar a la CONUEE.**

El informe que deberá entregarse a la CONUEE deberá de incluir como mínimo los siguientes puntos:

- I. Resumen ejecutivo
- II. Descripción del proceso
- III. Situación energética
- IV. Potencial de ahorro
- V. Eficiencia de equipo
- VI. Medidas de ahorro de energía
- VII. Plan de trabajo y plan de acción

Anexos

1. Cotización del equipo por parte de los fabricantes.
2. Censo detallado de equipo principal. (Hoja de datos electrónica)
3. Costos de energéticos, gas, combustóleo, diesel, carbón, vapor, electricidad
4. Mediciones
5. Herramientas de evaluación
6. Costo del diagnóstico energético



**10. ¿Qué hacer después de tener un diagnóstico energético?**

La dependencia o entidad deberá instrumentar un programa permanente de ahorro, uso eficiente de la energía, seguimiento y control en sus instalaciones, el cual, debe formar parte del trabajo cotidiano de todos los servidores públicos.

El programa permanente debe contar con la infraestructura técnica administrativa y financiera para llevar a cabo con éxito las medidas de conservación, uso eficiente y sustitución energética y, como resultado, el ahorro de energía.



## Anexo 4

# Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)

## Artículo 36





## Anexo 4

**ARTÍCULO 36.-** La Secretaría de Energía 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:

I. De autoabastecimiento de energía eléctrica destinada a la satisfacción de necesidades propias de personas físicas o morales, siempre que no resulte inconveniente para el país a juicio de la Secretaría de Energía. Para el otorgamiento del permiso se estará a lo siguiente:

a) Cuando sean varios los solicitantes para fines de autoabastecimiento a partir de una central eléctrica, tendrán el carácter de copropietarios de la misma o constituirán al efecto una sociedad cuyo objeto sea la generación de energía eléctrica para satisfacción del conjunto de las necesidades de autoabastecimiento de sus socios. La sociedad permissionaria no podrá entregar energía eléctrica a terceras personas físicas o morales que no fueren socios de la misma al aprobarse el proyecto original que incluya planes de expansión, excepto cuando se autorice la cesión de derechos o la modificación de dichos planes; y

b) Que el solicitante ponga a disposición de la Comisión Federal de Electricidad sus excedentes de producción de energía eléctrica, en los términos del artículo 36-Bis.

II.- De Cogeneración, para generar energía eléctrica producida conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambos; cuando la energía térmica no aprovechada en los procesos se utilice para la producción directa o indirecta de energía eléctrica o cuando se utilicen combustibles producidos en sus procesos para la generación directa o indirecta de energía eléctrica y siempre que, en cualesquiera de los casos:

a) La electricidad generada se destine a la satisfacción de las necesidades de establecimientos asociados a la cogeneración, siempre que se incrementen las eficiencias energética y económica de todo el proceso y que la primera sea mayor que la obtenida en plantas de generación convencionales. El permissionario puede no ser el operador de los procesos que den lugar a la cogeneración.

b) El solicitante se obligue a poner sus excedentes de producción de energía eléctrica a la disposición de la Comisión Federal de Electricidad, en los términos del artículo 36-Bis.



**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)** Que los solicitantes sean personas físicas o personas morales constituidas conforme a las leyes mexicanas y con domicilio en el territorio nacional, y que cumplan con los requisitos establecidos en la legislación aplicable;
- b)** Que los proyectos motivo de la solicitud estén incluidos en la planeación y programas respectivos de la Comisión Federal de Electricidad o sean equivalentes. La Secretaría de Energía conforme a lo previsto en la fracción III del artículo 3o., podrá otorgar permiso respecto de proyectos no incluidos en dicha planeación y programas, cuando la producción de energía eléctrica de tales proyectos haya sido comprometida para su exportación, y
- c)** 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.

**IV.-** De pequeña producción de energía eléctrica, siempre que se satisfagan los siguientes requisitos:

- a)** Que los solicitantes sean personas físicas de nacionalidad mexicana o personas morales constituidas conforme a las leyes mexicanas y con domicilio en el territorio nacional, y que cumplan con los requisitos establecidos en la legislación aplicable;
- b)** Que los solicitantes destinen la totalidad de la energía para su venta a la Comisión Federal de Electricidad. En este caso, la capacidad total del proyecto, en un área determinada por la Secretaría, no podrá exceder de 30 MW; y
- c)** Alternativamente a lo indicado en el inciso b) y como una modalidad del autoabastecimiento a que se refiere la fracción I, que los solicitantes destinen el total de la producción de energía eléctrica a pequeñas comunidades rurales o áreas aisladas que carezcan de la misma y que la utilicen para su autoconsumo, siempre que los interesados constituyan cooperativas de consumo, copropiedades, asociaciones o sociedades civiles, o celebren convenios de cooperación solidaria para dicho propósito y que los proyectos, en tales casos, no excedan de 1 MW;



V.- De importación o exportación de energía eléctrica, conforme a lo dispuesto en las fracciones III y IV del artículo 3o., de esta Ley.

En el otorgamiento de los permisos a que se refiere este artículo, deberá observarse lo siguiente:

- 1) El ejercicio autorizado de las actividades a que se refiere este artículo podrá incluir la conducción, la transformación y la entrega de la energía eléctrica de que se trate, según las particularidades de cada caso;
- 2) El uso temporal de la red del sistema eléctrico nacional por parte de los permisionarios, solamente podrá efectuarse previo convenio celebrado con la Comisión Federal de Electricidad, cuando ello no ponga en riesgo la prestación del servicio público ni se afecten derechos de terceros. En dichos convenios deberá estipularse la contraprestación en favor de dicha entidad y a cargo de los permisionarios;
- 3) La Secretaría de Energía oyendo la opinión de la Comisión Federal de Electricidad, podrá otorgar permiso para cada una de las actividades o para ejercer varias, autorizar la transferencia de los permisos e imponer las condiciones pertinentes de acuerdo con lo previsto en esta Ley, su reglamento y las Normas Oficiales Mexicanas, cuidando en todo caso el interés general y la seguridad, eficiencia y estabilidad del servicio público;
- 4) Los titulares de los permisos no podrán vender, revender o por cualquier acto jurídico enajenar capacidad o energía eléctrica, salvo en los casos previstos expresamente por esta Ley; y
- 5) Serán causales de revocación de los permisos correspondientes, a juicio de la Secretaría de Energía, el incumplimiento de las disposiciones de esta Ley, o de los términos y condiciones establecidos en los permisos respectivos.



## Anexo 5

# Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)

## Artículo 103-106



## Anexo 5

### Sección séptima.- De la cogeneración

**ARTÍCULO 103.-** De acuerdo con lo dispuesto en el artículo 36, fracción II, de la Ley, se entiende por cogeneración:

- I. La producción de energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas;
- II. La producción directa o indirecta de energía eléctrica a partir de energía térmica no aprovechada en los procesos de que se trate, o
- III. La producción directa o indirecta de energía eléctrica utilizando combustibles producidos en los procesos de que se trate.

**ARTÍCULO 104.-** Para la obtención y aprovechamiento de un permiso de cogeneración, será indispensable que:

- I.- La electricidad generada se destine a la satisfacción de las necesidades de establecimientos asociados a la cogeneración, entendidos por tales, los de las personas físicas o morales que:
  - a) Utilizan o producen el vapor, la energía térmica o los combustibles que dan lugar a los procesos base de la cogeneración, o
  - b) Sean copropietarios de las instalaciones o socios de la sociedad de que se trate, y
- II. El permisionario se obligue a poner sus excedentes de energía eléctrica a disposición de la Comisión, de acuerdo con lo previsto en la sección cuarta de este capítulo

**ARTÍCULO 105.-** Con las solicitudes de permisos de cogeneración, deberá acompañarse, además de los documentos a que se refiere el artículo 83 de este ordenamiento, un estudio de la instalación, incluyendo como mínimo:

- I. La descripción general del proceso;
- II. Los diagramas del proceso, balances térmicos y requerimientos específicos de combustibles;
- III. La disponibilidad de excedentes de potencia y energía eléctrica esperada, por día típico, formulada en forma mensual y anual, y
- IV. (Se deroga).



**ARTÍCULO 106.-** Podrán otorgarse permisos de cogeneración a personas distintas de los operadores de los procesos que den lugar a la cogeneración.

En este supuesto, la solicitud deberá ser firmada también por los operadores, quienes acompañarán copia certificada del convenio celebrado al respecto o el instrumento en que conste la sociedad que hubieren constituido para llevar a cabo el proyecto.