

01128  
22

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE INGENIERIA MECANICA E INDUSTRIAL

ANALISIS DE VIABILIDAD EN LA INSTALACION DE UN  
SISTEMA DE COGENERACION PARA UNA EMPRESA  
FARMACEUTICA.

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO INDUSTRIAL**  
P R E S E N T A  
**RENE LARA HERRERA**

ASESOR: ING. ENRIQUE JIMENEZ ESPRIU

MEXICO, D. F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2003.



A



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## DEDICATORIA

### *A Dios:*

Por darme la vida, fuerza y voluntad para poder completar esta meta.

### *A mis padres:*

Gracias por brindarme su comprensión, la oportunidad de estudiar y por todo lo que me han enseñado con su grandioso y excelente ejemplo de vida, por ser los mejores, por su inmenso amor, y porque siempre me apoyaron incondicionalmente para lograr esta meta que es el mejor legado que me dejan. Este logro también es suyo.

### *A mis hermanos:*

Porque son un apoyo y motivo importante para mí, los quiero mucho.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### *A mis tíos:*

Por su constante preocupación de que me titulara y por no dejarme de insistir en ello.

### *A mis amigos:*

Por siempre estar ahí cuando los necesito, gracias por todo lo que compartimos (y seguiremos compartiendo) y por ser un gran apoyo moral y académico.

## AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, la Universidad Nacional Autónoma de México que me dio las bases para poder desarrollarme en todos los ámbitos.

A la Facultad de Ingeniería por proporcionar los recursos para construir los cimientos que son la base mi formación profesional.

Al Colegio de Ciencias y Humanidades que me dio la libertad de decisión.

A mis profesores por su compromiso y dedicación, en especial al Ing. Arnulfo Andrade quien me ayudó con su enseñanza y gran experiencia a entender de fondo las cosas y del cual estoy muy agradecido.

A mi asesor de tesis Ing. Enrique Jiménez por su apoyo para el desarrollo de este trabajo, por la disposición para atender mis dudas y por la preocupación mostrada personalmente.

Al ingeniero Jorge Maya y al licenciado Jorge Jiménez, que sin tener nada que ver con la Facultad de Ingeniería, me apoyaron incondicionalmente para el desarrollo de este proyecto.

A todos los que estuvieron involucrados directamente para poder desarrollar este trabajo.

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO II.- ANTECEDENTES</b>	<b>4</b>
II.1.-Historia	5
II.1.1.-Generación distribuida (GD)	6
II.1.1.1.- Tipos de generación distribuida	7
II.2.- ¿Qué es la cogeneración?	9
II.2.1.-Sistemas de cogeneración	11
II.2.1.1 Ventajas y desventajas de los sistemas de cogeneración	14
II.3.- ¿Quién puede cogenerar?	15
II.4.- Factores que determinan su aplicación y favorecen su empleo	16
II.4.1.-Beneficios de la cogeneración	16
II.4.2.-Comparación entre la cogeneración y sistemas convencionales de generación eléctrica	17
II.5.-Aspectos técnicos, políticos y legales	19
I.5.1.- Selección del sistema de cogeneración	19
II.6.- Potencial Nacional de Cogeneración	21
II.7.-Experiencias de cogeneración	23
<b>CAPÍTULO III.- MARCO REGULATORIO DEL SECTOR ELÉCTRICO MEXICANO</b>	<b>26</b>
III.1.- Situación actual del sector eléctrico	27
III.2.- Principales características del sector eléctrico	27
III.3.-Cómo funciona actualmente un proyecto de cogeneración	28
III.4.- La autoridad reguladora	31
III.5.- Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)	31
III.6.- Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (RLSPEE)	32
III.7.- Instrumentos para impulsar el desarrollo de la cogeneración en México	33
<b>CAPÍTULO IV.- EEMPLO DE APLICACIÓN</b>	<b>36</b>
<b>CAPÍTULO V.- EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA</b>	<b>41</b>

<b>IV.1.- Evaluación Técnica</b>	<b>42</b>
IV.1.1- Selección del sistema de cogeneración	42
IV.1.2- Datos del recuperador de calor	44
<b>IV.2.- Evaluación económica</b>	<b>46</b>
Inversión inicial	48
Ahorro, ingresos y egresos	49
Función del valor presente, VPN, TIR, PRI y B/C	51
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>56</b>

4

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN



El tema de la cogeneración no es muy conocido actualmente en nuestro país, por eso, la inquietud de desarrollar una tesis referente a este tema que se le podría sacar provecho tanto en el sector privado como en el público.

A partir de que la generación de energía eléctrica se ha visto revasada o en el límite de la demanda debido a que la misma ha estado creciendo y que en poco tiempo se verán problemas de abastecimiento en partes del país, resurgió una tecnología que puede ayudar al problema que esta latente.

La cogeneración es la producción de energía eléctrica y térmica a partir de una misma fuente de energía y surge hace muchos años para asegurar el abastecimiento de energía en industrias que requerían tanto vapor como electricidad para operar; pero la cogeneración no resultó rentable en aquél entonces porque las empresas generadoras comenzaron a subsidiar el precio la energía eléctrica debido a las economías de escala, por medio de redes de tendido eléctrico público haciéndola más confiable y barata, lo cual orilló a que la cogeneración pasara a segundo término. En los últimos años, los industriales se han dado cuenta que este medio de producción de energía funciona bien y representa un ahorro desde el punto de vista energético haciéndola más eficiente y atractiva que proyectos de sólo generación de energía eléctrica. Sin embargo, todavía faltan afinar detalles para que esta técnica pueda ser utilizada al 100% y de esa manera aprovechar sus beneficios y contribuir a que las barreras que impiden su desarrollo disminuyan o desaparezcan; por ejemplo, los aspectos legales que impiden el desarrollo de la cogeneración en nuestro país, es el problema del suministro de gas a la planta; en el caso de que el combustible a utilizar en el proyecto sea gas, el cogenerador debe contratar el suministro de este energético con algún productor que encuentre (casi siempre PEMEX) y obtener los derechos de vía con cada dueño de tierra que se vea afectado por la instalación de los ductos en su terreno. Otra barrera es que para poder consumir la electricidad generada por una planta de cogeneración, es necesario o ser accionista de la planta, o ser productor de algún insumo para la generación eléctrica, llámese vapor o combustible necesario para la generación de electricidad.





## OBJETIVO

El objetivo principal del desarrollo de esta tesis es proporcionar al industrial una idea de lo que es la cogeneración para que pueda invertir en una planta y así obtener los múltiples beneficios que esta ofrece.

## ALCANCE

En este proyecto se plantea la historia de la cogeneración, cuál es el surgimiento de esta técnica, en donde se puede clasificar, cuales son los tipos de cogeneración, las tecnologías de la misma. el panorama del Sector Eléctrico Mexicano (aspectos legales, permisos, etc.) que determinarán su aplicación en nuestro país y por último la evaluación técnica y financiera del proyecto para determinar la factibilidad y viabilidad respectivamente.

Cabe mencionar que se plantea la elaboración del análisis económico y no financiero; además que los datos mostrados en las tablas, referentes a dinero, son en moneda nacional así como la propia evaluación económica. Otro punto importante a mencionar, es que el costo del motor, mostrado en dólares americanos, no incluye impuestos aduanales u otros impuestos fuera del país de origen, ni la interconexión con sistemas existentes, térmicos y/o eléctricos, ni los fletes, ni la preparación general del sitio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPÍTULO II. ANTECEDENTES



## II.1.-Historia

---

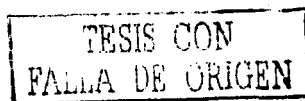
La cogeneración surge hace muchos años (principios del siglo XX) de la inquietud por asegurar el abasto de energía eléctrica sobre todo en ingenios azucareros, industria del papel, entre otras; dándole un enfoque totalmente diferente al que se le da ahora como un ahorro de energía.

La cogeneración no resultó rentable en aquél entonces porque las empresas generadoras comenzaron a subsidiar el precio la energía eléctrica debido a las economías de escala (producir mayor volumen para disminuir los costos unitarios), por medio de redes de tendido eléctrico público haciéndola más confiable y barata lo cual orilló a que la cogeneración pasara a segundo término, hasta hacerla desaparecer totalmente. Sin embargo en tiempos modernos donde la globalización, contaminación ambiental, el alto costo de la energía eléctrica y el desarrollo tecnológico de los equipos ha hecho que la cogeneración renazca y vuelva a ser rentable teniendo beneficios que nunca se había pensado en aquellos tiempos.

Debemos enfatizar que la cogeneración recibe el impulso técnico más importante en los años ochenta<sup>1</sup>, éste consiste básicamente en la aplicación de las turbinas aeroderivadas en la generación de energía eléctrica, es decir, se toman las turbinas utilizadas en la aviación comercial y con pequeñas modificaciones se adaptan a tierra y se acoplan a generadores eléctricos que las transforman, por primera vez, en grupos turbogeneradores industriales. El desarrollo tecnológico también se refiere a innovaciones efectuadas con materiales de una resistencia tal que se pudieron utilizar para fabricar álabes de turbinas y materiales cerámicos que pueden ser utilizados en cámaras de combustión capaces de resistir altas temperaturas sin sufrir daño alguno. Además, con el paso del tiempo se ha logrado obtener eficiencias energéticas mayores a las del comienzo.

---

<sup>1</sup> <http://www.conae.gob.mx>



# TESIS CON FALLA DE ORIGEN



El desarrollo de las turbinas de gas, fue de la mano del desarrollo de los motores alternativos de combustión interna, que en la actualidad se conoce su amplia aplicación no solo en la generación convencional con grandes motores, sino también como generación distribuida en lugares donde parecía difícil hacer llegar la electricidad, haciéndolo con pequeñas unidades modulares, es decir, con pequeños motores que generan energía eléctrica, por ejemplo en pequeñas islas, o en lugares marginados donde no existe la infraestructura ni los recursos necesarios para colocar líneas de transmisión, para abastecerlos.

Dentro de los procesos termodinámicos, también se tuvieron grandes avances hasta llegar a la introducción del ciclo combinado a las plantas termoeléctricas convencionales de generación, que hasta hace poco tiempo, todavía se están convirtiendo las termoeléctricas a este tipo de producción energética.

Se tiene que resaltar que el desarrollo de los recuperadores de calor ya que también contribuyeron al desarrollo de los sistemas de cogeneración, así como el inicio de la tecnología de combustibles en forma gaseosa y el desarrollo de la fabricación de sistemas de cogeneración tipo paquete (modular).

### **II.1.1.-Generación distribuida (GD)**

---

Para poder entender todo lo referente a la cogeneración y su definición, hay que hacer notar que es una derivación de la llamada generación distribuida que a continuación se describe.

La generación distribuida (GD) se refiere al uso estratégico de pequeñas unidades modulares de generación eléctrica, instaladas dentro de las áreas de servicio de una empresa eléctrica, que pueden estar aisladas para proporcionar un servicio específico, o interconectadas a las redes de distribución o subtransmisión de electricidad, para reducir el costo del servicio y mejorar la calidad de la energía entregada.



En años recientes se ha aportado este tipo de aplicaciones a zonas rurales de la república mexicana utilizando celdas fotovoltaicas en las que su principal función es transformar la energía solar captada por grandes paneles, a energía eléctrica utilizable en medio del desierto, por ejemplo, donde no existen líneas de tendido eléctrico de ninguna empresa generadora de energía, y proporcionar este tipo de servicio por estas empresas a estos lugares, no es costeable, es decir tendrían que hacer una inversión muy fuerte y tal vez nunca la recuperarían; es por eso que la utilización de equipos modulares de generación eléctrica son cada vez mas utilizados no sólo para comunidades rurales, sino también para industrias que se están dando cuenta que es una inversión muy atractiva.

#### II.1.1.1.- Tipos de generación distribuida

La Generación Distribuida ofrece soluciones de valor añadido a clientes, compañías suministradoras de energía y operadores de redes de distribución, por medio de sistemas de generación en sitio y conectados a la red, que proporcionan, entre otras, las siguientes ventajas:

- Eliminan pérdidas en las líneas debido a que generan en el sitio donde se requiere y no es necesario transportarla a grandes distancias.
- Suponen una fuente de bajo costo para atender demandas de puntas de energía.
- Mejoran la calidad y la confiabilidad de la energía eléctrica (estabilidad de la tensión, suministro de potencia reactiva y corrección del factor de potencia).
- Reducen los costos energéticos y de la demanda eléctrica a las empresas generadoras.
- Son fuentes de alta confiabilidad para sistemas o usuarios sensibles a los que no se puede interrumpir el suministro de energía.

Los tipos de generación distribuida son:





**Motores alternativos.** Los motores alternativos de combustión interna constituyen una tecnología muy conocida aplicada a la generación, desde pequeños equipos portátiles hasta generadores de varios MW. Los sistemas con motor de combustión interna y recuperación de calor representan la modalidad de Generación Distribuida más extendida en México.

**Turbinas de gas y microturbinas.** Las turbinas de gas constituyen una tecnología establecida para aplicaciones de Generación Distribuida en el rango de 0.5 hasta 100 MW. Producen una energía calorífica de alta calidad que puede usarse para producir vapor, con generación de potencia adicional (ciclo combinado), en usos industriales y de calefacción. Por otra parte, las microturbinas son turbinas de gas muy pequeñas, con potencias de 30 a 200 kW, pudiéndose acoplar varias de ellas para atender cargas mayores. Estos sistemas pueden generar electricidad con rendimientos eléctricos del 25 al 30%, empleando un recuperador que aprovecha el calor del escape. Las microturbinas tienen el tamaño apropiado para su uso en edificios comerciales o para aplicaciones industriales de cogeneración.

**Turbinas de Vapor.-** Aunque este tipo de turbinas son demasiado grandes, potentes y costosas, también suelen ser consideradas como un tipo de generación distribuida, debido a que existen industrias que requieren ambos tipos de energía en grandes cantidades, tal es el caso de los ingenios azucareros por mencionar alguno.

**Pilas de combustible.** Las pilas de combustible producen energía electroquímicamente, aportando oxígeno al cátodo e hidrógeno al ánodo en presencia de un electrolito. El hidrógeno puede provenir de una gran variedad de fuentes, aunque lo más económico es partir del gas natural, mientras que el oxígeno procede directamente del aire. El electrolito puede ser tanto líquido como sólido. Las pilas de ácido fosfórico se encuentran en estado comercial puro; otras están aún en fase de pruebas o en un desarrollo inicial. Los rendimientos de las pilas de combustible son del orden del 35 al 40% en generación eléctrica, pudiendo alcanzar el 60% con los sistemas en desarrollo.



**Fuentes de energía renovable.** Se incluyen como tales el aprovechamiento energético de la biomasa vegetal y los cultivos energéticos, la radiación solar térmica y fotovoltaica, y la energía eólica, además del potencial hidráulico a pequeña o gran escala. También se incluyen otras fuentes de energía en vías de desarrollo como las energías marina y geotérmica.

La introducción de la Generación Distribuida al ambiente de generación, plantea problemas que no estaban previstos en los sistemas de gestión de los despachos de energía eléctrica actuales, así como una diversidad de situaciones que requieren de herramientas sofisticadas para resolverlos: tecnologías para la gestión de la red, servicios orientados al mercado eléctrico, nuevos modelos de negocio, mercados energéticos inteligentes, etc.

El mercado de la Generación Distribuida conduce a una red de generadores consumidores que conectarán a una misma red de distribución sistemas basados en microturbinas, pilas de combustible, etc. La Distribución Activa plantea toda una serie de problemas y oportunidades relacionadas con los servicios, los equipos y las infraestructuras. Se empieza a ubicar el negocio de la electricidad en un contexto en el que la tecnología es un factor importante además de una mega infraestructura y transporte. Se abre así un futuro con posibilidades de negocio a gran escala basadas fundamentalmente en la tecnología.<sup>2</sup>

## II.2.- ¿Qué es la cogeneración?

En la actualidad, la generación eléctrica por el método tradicional, por ejemplo, en una planta de generación termoeléctrica se quema normalmente un combustible fósil para producir vapor a alta temperatura y presión; este vapor pasa por una turbina, que conectado a un generador, es posible obtener energía eléctrica y la eficiencia de la planta no alcanza a ser mayor al 33%, es decir, que en el proceso completo para generar energía eléctrica, sólo el 33% del total de la energía suministrada, es posible transformarla en

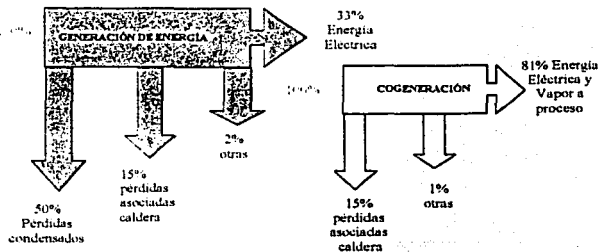
<sup>2</sup> Boletín de Tecnología e Innovación N° 36 septiembre 2001, LABEIN





electricidad, y la demás energía es expulsada en forma de calor hacia la atmósfera; este calor no es posible utilizarlo con fines generadores dentro de esta planta, por eso se desecha. Sin embargo no es la única forma de utilizar la energía ya que la mayoría de los procesos industriales requieren vapor y calor a baja temperatura, tal es el caso de las industrias del papel, de plásticos, etc.

Figura 1.- Pérdidas en la generación convencional Vs. pérdidas en la cogeneración



Fuente: CONAE

En los sistemas de cogeneración comúnmente adoptados en las industrias, el combustible empleado para generar la energía eléctrica y térmica es mucho menor que el utilizado en los sistemas convencionales de generación de energía eléctrica y térmica por separado, es decir, que del 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, las pérdidas eléctricas por transmisión y distribución entre otras (ver figura 1). Esto es comprensible, porque para generar cierta cantidad de energía eléctrica, se tendrá también cierta cantidad de energía térmica que normalmente se desearía; si esta energía térmica se utilizara, con la cantidad de combustible suministrada a la entrada, tendría que ser menor por obvias razones al necesario para producir la misma cantidad de ambos tipos de energía generadas por separado. Por eso es muy atractivo este tipo de generación de ambas energías para las industrias que requieren de las dos para funcionar.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



En los sistemas de cogeneración, se puede llegar a aprovechar hasta el 84% de la energía contenida en el combustible para la generación de energía eléctrica y calor a proceso, lo cual representaría una eficiencia eléctrica de un 25 a 30% y una eficiencia térmica de 59 a 54%.

La cogeneración, se define como "La técnica empleada para la producción secuencial de dos tipos de energía útiles, por lo general energía eléctrica y energía térmica, a partir de una sola fuente de suministro de energía<sup>3</sup>.

También se puede definir la cogeneración como cualquiera de los siguientes tres casos:

- a) La producción de energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas;<sup>4</sup>
- a) La producción directa o indirecta de energía eléctrica a partir de energía térmica no aprovechada en los procesos de que se trate, o<sup>4</sup>
- b) La producción directa o indirecta de energía eléctrica utilizando combustibles producidos en los procesos de que se trate.<sup>4</sup>

### II.2.1.-Sistemas de cogeneración

Los principales sistemas de cogeneración son los siguientes:

- a) Cogeneración con turbina de vapor.
- b) Cogeneración con turbina de gas.
- c) Cogeneración con ciclo combinado.
- d) Cogeneración con motor alternativo.

<sup>3</sup> Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE)

<sup>4</sup> Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) artículo 36, fracción II y el Reglamento de la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica (RLSPEE) artículo 103.



#### **a) Cogeneración con Turbinas 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 eficiencia 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.

#### **b) Cogeneración con Turbinas 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.

### c) 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. Cabe mencionar que cuando esta configuración se utiliza únicamente para la producción de energía eléctrica, no se considera como sistema de cogeneración.

### d) 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.

**Tabla 1.- Relación Calor Electricidad (Q/E)**

TECNOLOGÍA	Q/E
Motor alternativo	0.8 a 2
Turbina de gas	1.2 a 4
Turbina de vapor	3 a 30

Fuente: CONAE<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Subdirección de cogeneración CONAE



---

### II.2.1.1 Ventajas y desventajas de los sistemas de cogeneración

---

#### ♦ TURBINA DE GAS

**Ventajas.-** Las turbinas de gas tienen una amplia gama de aplicaciones, además de que son muy fiables para generar aportando elevadas temperaturas de energía térmica; el rango en el que se encuentra en cuanto a generación se refiere, está desde 0.5 a 100 MW y los gases que despiden son con un alto contenido de oxígeno.

**Desventajas.-** Este tipo de sistema de cogeneración tiene limitación en los combustibles a utilizar, además que el tiempo de vida que se les ha estimado es muy corto.

#### ♦ TURBINA DE VAPOR

**Ventajas.-** Estas turbinas tienen un rendimiento global muy alto, es extremadamente segura, es decir la probabilidad de que falle es muy baja, es ideal para lugares donde se requieran cero paros al generar energía eléctrica, en comparación con la turbina de gas, esta sí tiene la posibilidad de utilizar todo tipo de combustible; la vida de este tipo de sistema, es muy alta, tiene larga vida de servicio y se puede utilizar para potencias de salida en un amplio rango.

**Desventajas.-** Este sistema tiene bajas relaciones de electricidad / calor, es decir, es apto para lugares donde los requerimientos de energía térmica son muy grandes y mayores a los requerimientos eléctricos, la puesta en marcha es lenta y sobre todo el costo es muy elevado.



#### ♦ MOTOR ALTERNATIVO

**Ventajas.-** Este sistema es de los más utilizados debido a su alta relación electricidad / calor; es utilizado principalmente en lugares donde se requiere más energía eléctrica que térmica, tiene un alto rendimiento térmico, es de bajo costo comparado con los otros dos sistemas, además el tiempo de vida de los motores, es largo teniendo capacidad de adaptación a variaciones de la demanda.

**Desventajas.-** Este sistema tiene alto costo de mantenimiento y la energía térmica generada, es muy distribuida y a baja temperatura.

#### II.3.- ¿Quién puede cogenerar?

---

Aunque técnicamente cualquier empresa, o usuario puede cogenerar, esto será siempre y cuando esta empresa requiera energía eléctrica y cualquier otro tipo de energía térmica, ya sea vapor, agua caliente, gases calientes, refrigeración o climatización, o para accionamientos mecánicos de compresores o bombas, ya sea para sus procesos productivos o en su planta general.

Mientras menos se requiera de esta energía térmica útil, la eficiencia se irá reduciendo hasta el grado de ser equivalente o inferior a la obtenida en una planta de generación eléctrica convencional, en donde ésta energía no se utiliza. Por lo tanto el proyecto no será económicamente viable.

Por lo anterior, los sectores más aptos para instalar un sistema de cogeneración, de acuerdo con sus requerimientos energéticos, pueden agruparse en tres tipos:

Electricidad y calor. Los procesos de producción que requieren estos tipos de energía son: refinерías, siderurgia, celulosa y papel, textil, ingenios azucareros, cemento, automotriz y cerámica.



Electricidad y frío. En este caso se encuentran principalmente los grandes edificios de oficinas, así como estadios y centros deportivos cerrados.

Electricidad, calor y frío. Los procesos e instalaciones donde se requieren los tres tipos de energía son: hoteles, hospitales e industria de la alimentación a los cuales se les conoce como trigeneración.<sup>6</sup>

---

#### II.4.- Factores que determinan su aplicación y favorecen su empleo

---

##### II.4.1.-Beneficios de la cogeneración

---

**A nivel nacional**- Permite un uso más eficiente de la energía primaria, es decir, petróleo, gas natural, etc., reduciendo por lo tanto el consumo de los combustibles no renovables en el país.

Otro ahorro importante se hace en la disminución de las pérdidas de transformación y distribución de la energía eléctrica, ya que los sistemas de cogeneración se ubican en los centros de consumo y no a distancia como sucede con las grandes plantas generadoras.

Por lo que respecta al medio ambiente, la cogeneración permite una reducción de emisiones contaminantes por quemar menos combustible y debido también a que los combustibles utilizados en este tipo de sistemas son más limpios, como el gas natural. El cambio del medio ambiente es inevitable, pero depende en gran medida de las actitudes que las personas aporta, sobre todo aquellas que están directamente relacionados como las industrias, las cuales contribuyen, cada quien en proporciones guardadas, a el cambio climático del ambiente, al efecto invernadero, etc.

---

<sup>6</sup> Energía Racional No. 44 Jul.-Sep. 2002, FIDE



Para el sistema eléctrico nacional, se reduce la demanda y se aumenta su capacidad de reserva, mientras que se aumenta la capacidad de generación instalada.<sup>7</sup>

A nivel industrial.- Los sistemas de cogeneración permiten reducir la facturación energética, impactando en los costos de producción y como consecuencia aumenta la competitividad de la empresa; así como, la autosuficiencia, continuidad y calidad del suministro de energía eléctrica, con lo que obtiene confiabilidad en su proceso.

También debemos mencionar que un beneficio sobresaliente de los sistemas de cogeneración consiste en la autosuficiencia del suministro de la energía eléctrica

#### **II.4.2.-Comparación entre la cogeneración y sistemas convencionales de generación eléctrica**

Las plantas de cogeneración con un buen mantenimiento y bien planeadas, se estima que pueden tener una vida útil de 20 a 30 años en los que se mantienen operando sin paros. Además este tipo de proyectos (de cogeneración) disponen de modernos sistemas de control y seguridad con los cuales se asegura la inexistencia de accidentes aparatosos y graves, sobre todo para los trabajadores; no obstante es recomendable contratar seguros de accidentes para cubrir estas eventualidades.

En este tiempo existe en el mercado la tecnología más avanzada y México dispone de ella para cristalizar los proyectos de cogeneración que dependerán de las necesidades de cada industria a la que estará dirigida el proyecto y de los recursos con que ésta cuenta. Más aún, una planta de cogeneración contribuye a la estabilización de la red y a su vez disminuye las pérdidas de energía en la red; además cabe mencionar que la calidad de la energía eléctrica generada por una planta de cogeneración, puede llegar a ser superior a la entregada por una planta generadora de energía, superándola tanto en tensión como en frecuencia.

<sup>7</sup> Lic Jorge Jiménez Arana, López Velarde, Heftye, Abogados







Cuando se implanta un sistema de cogeneración en alguna empresa, esto implica deshacerse de equipo que ya no utilizarán, como por ejemplo las calderas, pero no es necesario, al contrario, es prudente guardar aquellas que tienen mayor eficiencia y mas nuevos ya sea para alguna emergencia o para complementar algún proceso y no quedarse desprotegido.

En cuanto al mantenimiento requerido para los proyectos de cogeneración se torna muy elevado debido a que dicho mantenimiento es muy especializado y es indispensable, en la mayoría de los casos, que ese mantenimiento se contrate con los propios fabricantes para asegurar el funcionamiento y aumentar la vida útil de la tecnología. En cuanto a los demás equipos como calderas, equipos eléctricos, etc. no es necesario contratar mantenimientos especializados porque no lo requieren y por consecuencia, los costos de este tipo de mantenimiento son bajos. En muchas ocasiones la viabilidad económica del proyecto depende de los costos de operación y mantenimiento, por lo que el contrato de operación y mantenimiento que se firme a largo plazo será fundamental.

Dentro de los combustibles que son empleados para una planta de cogeneración, los más utilizados, son el combustóleo, gas natural y otros combustibles fósiles; sin embargo, el gas natural es el que resulta más viable para este tipo de plantas debido a que es el combustible que menos contamina, y que en la actualidad se están desarrollando proyectos de suministro de gas.

El desarrollo en el suministro de gas natural en la actualidad, está contribuyendo para que los proyectos de cogeneración sean más rentables, viables y eficientes; esto porque se están construyendo gasoductos para el suministro de éste combustible a nivel nacional y también a nivel internacional por medio del plan Puebla-Panamá. Esto sin duda beneficia a los proyectos de cogeneración, por eso el plan de trabajar conjuntamente. La mayoría de los ductos que se están construyendo son en el norte del país, y fundamentalmente son para meter gas importado de EUA y para atender el incremento de producción de Pemex-Exploración y Producción en la llamada Cuenca de Burgos en Tamaulipas y NL. En



realidad, el dominio de PGPB en el transporte sigue inhibiendo sustancialmente la inversión en ductos.<sup>8</sup> Esto es relativo porque actualmente el mercado del gas natural es muy incierto.

## II.5.-Aspectos técnicos, políticos y legales

### I.5.1.- Selección del sistema de cogeneración

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Es de suma importancia conocer los requerimientos eléctricos y térmicos de cada empresa ya que para ninguna es el mismo; esto para la aplicación correcta de cada sistema de cogeneración.

Los sistemas de cogeneración deben ser diseñados para abastecer la totalidad de la demanda térmica de la empresa (Punto C del figura 2, pag 21), debido a que en este punto es donde indudablemente se arroja la mayor eficiencia energética del sistema, además que es el más fácil de implantar y dar mantenimiento, porque es casi imposible vender excedentes térmicos, esto sin mencionar que en algunos casos se dimensionan con el objetivo de satisfacer la demanda eléctrica, e inclusive una combinación de las anteriores. La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía diseña los sistemas de cogeneración según la tabla 1 (pag 13), en los que ellos recomiendan según las relaciones de calor/electricidad (Q/E) y de esta forma se establece que la prioridad es satisfacer los requerimientos térmicos y después comprar los faltantes de energía eléctrica o vender los excedentes eléctricos, que es mas sencillo que generar el faltante térmico por medio de la quema de más combustible, o la condensación del excedente térmico (desperdicio).

Es casi imposible diseñar dichos sistemas para que satisfagan exactamente los requerimientos eléctricos y térmicos de la empresa debido a que los equipos disponibles en el mercado, normalmente no corresponden con dichas necesidades y siempre se tiene

<sup>8</sup> Lic. Jorge Jiménez Arana , López Velarde, Heñye, Abogados



una generación mayor o menor de uno de estos energéticos, presentándose cuatro alternativas (ver figura 2, pag. 21):

- a. Cumplir con la energía eléctrica requerida por la empresa y el faltante de energía térmica, generarlo por la misma empresa por medio de pequeñas calderas, o comprarlo a empresas vecinas que naturalmente se encuentren cerca de el lugar de utilización debido a las pérdidas por transporte; este último casi no es utilizado.
- b. Cumplir con la energía eléctrica y tener que condensar o vender excedentes térmicos. Como ya se mencionó, la venta de excedentes térmicos es muy poco utilizada y la condensación del vapor, es casi como hacer un proceso sin tener beneficios.
- c. Satisfacer los requerimientos de energía térmica y tener excedentes de energía eléctrica que podrán ser vendidos a la red o a empresas vecinas. Este arreglo es el más atractivo, porque la eficiencia y el beneficio obtenido son muy atractivos.
- d. Satisfacer los requerimientos de energía térmica y tener que comprar faltantes de energía eléctrica.

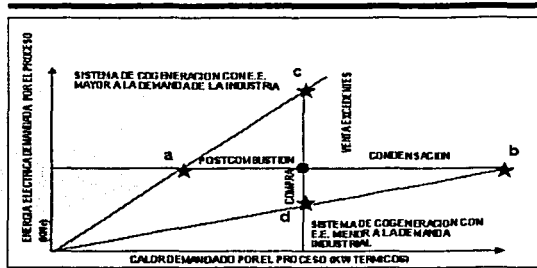
En México las alternativas de compra – venta de excedentes eléctricos están contempladas en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y en Reglamento de dicha ley. En el año de 2001, el Reglamento fue reformado por el Presidente para permitir que los cogeneradores vendieran a CFE sus excedentes eléctricos sin límites de capacidad. Dicha reforma, sin embargo, fue anulada por la Suprema Corte, por lo que actualmente los cogeneradores solo pueden vender a CFE excedentes eléctricos hasta por 20 MW, a través de convenios cuyos términos y condiciones los aprueba la Comisión Reguladora de Energía.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Lic. Jorge Jiménez Arana , López Velarde, Hefty, Abogados



Figura 2.- Energía Eléctrica Vs. Calor de Proceso



a- Requiere mucha de energía eléctrica generada de la empresa de que se trata  
b-c- Ahorro eléctrico

Fuente: CONAE

## II.6.- Potencial Nacional de Cogeneración

El potencial nacional de cogeneración es la capacidad que tiene un país para cogenerar, es decir, cual es la capacidad instalada de generación eléctrica por medio de la cogeneración tomando en cuenta todos los proyectos concretados hasta la fecha en los diferentes sectores a estudiar.

Es importante conocer el potencial de cogeneración del país, porque de esto depende el panorama y la perspectiva que se le puede dar a la cogeneración, así como su fomento en los diferentes sectores donde es aplicable.

El estudio para determinar el potencial nacional de cogeneración de México, lo realizó la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), a través de su Dirección de Cogeneración y Fuentes no Convencionales de Energía. Los sectores que son incluidos para este estudio y que son fundamentales, son: los sectores Industrial y Comercial, así como a las empresas de la Petroquímica de PEMEX.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Se elaboraron dos estimaciones del potencial; en el primero se supuso que la energía térmica necesaria en los sectores antes mencionados, es abastecido por un sistema de cogeneración en el cual tendría faltantes de energía térmica, es decir, no lograría cubrir con los requerimientos necesarios de calor (se encuentra en el punto a de la figura 2, pag. 21) y que sería necesario utilizar la postcombustión que pudiera incorporar al sistema de cogeneración y además la energía sobrante o faltante, se vendería a CFE o se compraría, respectivamente según se a el caso. En la segunda estimación que se hizo con la finalidad de determinar el potencial de cogeneración, las consideraciones fueron ahora que el sistema de cogeneración proporcionaría la totalidad de la energía térmica requerida por los diferentes procesos, es decir sin postcombustión (ubicado en los puntos c y d de la figura 2, pag. 21) utilizando el mismo criterio, ya sea comprando el faltante eléctrico, o vendiendo el excedente eléctrico.

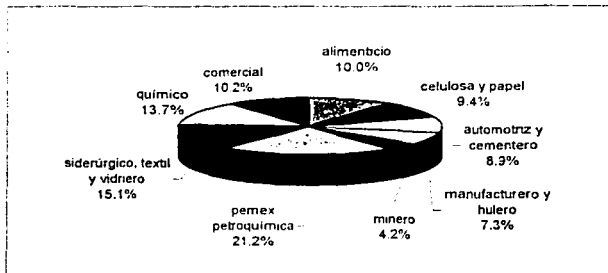
Llevando a cabo la metodología antes descrita, se determinó que el potencial nacional de cogeneración de la primera estimación asciende a 7,586 MW; y tomando en cuenta la segunda metodología para determinar el potencial, la segunda estimación resulta de 14,229 MW ver figura 3, pag 23.

El potencial nacional de cogeneración, resultó entre 7,586 y 14,229 MWe. Su aprovechamiento total significaría lograr un ahorro de energía primaria de entre 60.7 y 114.1 millones de barriles de petróleo crudo al año.

El desarrollo del potencial nacional de cogeneración en México depende de varios factores, entre los que se encuentran, el Marco Regulatorio, la disponibilidad de capital, los costos de inversión, los precios de la electricidad y los precios de los combustibles, entre otros; sin embargo, es de vital importancia que este potencial nacional de cogeneración se considere dentro de las estrategias para satisfacer las necesidades del país en materia de suministro de energía eléctrica ya que representa un gran beneficio al país.



Figura 3.- Distribución del Potencial Nacional de Cogeneración por Sector



Fuente: CONAE – SE, Balance Nacional de Energía 1993, PEMEX y distribuidores de PEMEX

Las perspectivas de la capacidad instalada en cuanto a cogeneración se refiere, son muy buenas y se estima que se podrá desarrollar una capacidad de cogeneración en México, de 1996 al año 2006, de 3,507 MW en un escenario pesimista y de 6,578 MW en un escenario optimista, requiriendo una inversión, en ese período, del orden de 2,805 a 7,894 millones de dólares americanos respectivamente.

Esta estimaciones, arrojan otras que de primera vista son excelentes y una vez que se implante este potencial de cogeneración, se podrán obtener ahorros anuales en el consumo de combustibles equivalentes a 28.0 millones de barriles equivalentes de petróleo, para el escenario pesimista, y de 52.7 millones de barriles equivalentes de petróleo para el escenario optimista aproximadamente.

### II.7.-Experiencias de cogeneración

En México todavía la actividad en materia de cogeneración no es muy buena, y aunque muchas empresas ya han instalado su sistema de cogeneración, muchos otros aún no están convencidos de los beneficios que les podría traer este tipo de aplicación para su industria.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



De las principales empresas y más recientes que han decidido adoptar una postura del lado de la cogeneración, podemos mencionar las siguientes:

#### SYNTEX

- Capacidad: 5.2 MW
- Energía: 31,500 GWh/AÑO
- Energético primario: Diesel
- Sector: Química
- Tecnología: Turbina a gas
- Ubicación: Jiutepec, Morelos
- Fecha: 12/03/01

#### ENERMAYA

- Capacidad: 29.022 MW
- Energía: 228.809 GWh/AÑO
- Energético primario: Combustóleo
- Sector: turismo
- Tecnología: Combustión interna
- Ubicación: Municipio de Solidaridad, Quintana Roo
- Fecha: 12/03/01

#### BECTON DICKINSON DE MÉXICO

- Capacidad: 6.54 MW
- Energía: 40.87 GWh/AÑO
- Energético primario: gas natural
- Sector:
- Tecnología: Combustión interna
- Ubicación: Cuautitlán Izcalli, Edo. de México
- Fecha: 09/02/01

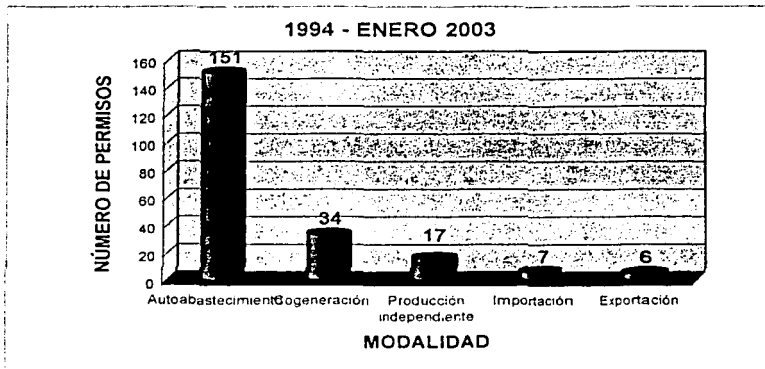
#### VITRO-IMSA-APASCO

- Planta desarrollada por Enron y actualmente operada por Tractebel en Monterrey
- Capacidad. 284 MW



- Más de 40 establecimientos consumidores en todo el territorio nacional
- Energético primario: Gas natural
- Tecnología: Turbina de vapor y de gas

Figura 4.- Permisos Vigentes Otorgados por la CRE



Fuente: Comisión Reguladora de Energía<sup>10</sup>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

<sup>10</sup> Se han otorgado 240 permisos, de los cuales 215 están vigentes y 25 han sido terminados por caducidad, por renuncia o por revocación



# CAPÍTULO III. MARCO REGULATORIO DEL SECTOR ELÉCTRICO MEXICANO



### III.1.- Situación actual del sector eléctrico

---

Dos organismos públicos integrados verticalmente caracterizan la industria eléctrica actual. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Luz y Fuerza del Centro (LFC) llevan a cabo, la generación, transmisión, distribución y venta de energía eléctrica que tiene por objeto la prestación del servicio público.

Hoy, las enormes necesidades de ampliación del sector eléctrico, los adelantos tecnológicos y la necesidad de contar con recursos adicionales para financiar otros requerimientos sociales, exigen transformar un esquema que limita la participación privada a otro que facilite una amplia concurrencia social, dentro de un marco de efectiva regulación estatal definida en las leyes que establezcan las condiciones de operación del sector, sin afectar, desde luego, la tarea social de los monopolios estatales.

### III.2.- Principales características del sector eléctrico

---

Conforme al Artículo 27 Constitucional, la generación, transmisión, distribución y venta de energía eléctrica, como aspectos del servicio público, son actividades de competencia exclusiva de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y de Luz y Fuerza del Centro (LFC). CFE tiene a su cargo la prestación del servicio público de energía eléctrica en todo el territorio nacional, salvo en el Distrito Federal y parte de los estados de México, Morelos, Hidalgo y Puebla, áreas atendidas por LFC que básicamente son para distribución.

La capacidad instalada para generación eléctrica en el territorio nacional comprende instalaciones de estas dos entidades públicas que representan 92% del total. El resto corresponde a generadores externos, entre los cuales destacan Petróleos Mexicanos, autoabastecedores y cogeneradores y productores independientes.



La capacidad instalada del sistema eléctrico nacional asciende a 36.1 GW<sup>11</sup>, de los cuales 53% corresponde a unidades de vapor convencional, de ciclo combinado y turbinas de gas; 28% a generación hidroeléctrica; 7% a carbón; 6% a unidades duales diseñadas para quemar carbón o combustóleo; 2% a geotérmica (México ocupa el tercer lugar mundial en su aprovechamiento) y el restante 4% es de tipo nuclear (Central de Laguna Verde, Veracruz).

Actualmente, la capacidad instalada de generación comprende 168 centrales eléctricas, integradas por 570 unidades generadoras de electricidad. De estas centrales, 79 son hidroeléctricas y las restantes son termoeléctricas, además de una nucleoelectrica, una eoloelectrica y cinco geotermoelectricas.<sup>11</sup>

### III.3.-Cómo funciona actualmente un proyecto de cogeneración

Conforme a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento, la operación de una planta de cogeneración requiere un permiso de cogeneración. Este permiso es otorgado por la Comisión Reguladora de Energía, conocida como la CRE, organismo desconcentrado de la Secretaría de Energía que tiene a su cargo la regulación del sector eléctrico y de la industria de transporte, distribución y almacenamiento de gas natural. Para el otorgamiento del permiso de cogeneración, la CRE analiza la factibilidad técnica, financiera y operativa del proyecto, la capacidad de generación, las instalaciones de consumo, el método de cogeneración, así como la probada experiencia y calificaciones en materia de seguridad de la empresa o entidad que operará la planta, es decir si se cuenta con el personal calificado para asegurar el buen funcionamiento y seguridad. Asimismo, la CRE revisa la existencia de un contrato con CFE por concepto de respaldo eléctrico y solicita a CFE su opinión técnica del proyecto, en términos del Reglamento. Habiéndose verificado el cumplimiento de estos y otros requisitos adicionales, la CRE otorga el permiso para cogenerar por una capacidad establecida, mismo permiso que establece la tecnología

<sup>11</sup> Propuesta de Cambio Estructural de la Industria Eléctrica en México, Secretaría de Energía, 1999., Luis Tellez K. Secretario de Energía



a utilizarse y los establecimientos asociados que tienen autorización para recibir y consumir dicha energía eléctrica. El vapor lo puede utilizar cualquier establecimiento sin un permiso específico por parte de la autoridad reguladora.

A través del esquema actual, se han diseñado verdaderos "clubes de consumidores", en que varias empresas se unen para conjuntamente construir su planta cogeneradora y compran de ésta la electricidad que consumen, bajo términos y condiciones libremente pactados con la desarrolladora de dicha cogeneradora.

Los clubes de consumidores, o grupos de establecimientos asociados a la cogeneración pueden ser de dos tipos:

- a) Socios o accionistas. Este tipo de clubes está formado por socios que compran acciones de la empresa dueña de la planta de cogeneración (PC) y titular del permiso de cogeneración para que puedan ser abastecidos de energía eléctrica; es decir; varias empresas que pueden ser de diferente giro y dueño, compran al titular o propietario de la planta cogeneradora acciones de la misma y así podrán disponer de la energía generada por la planta por medio de un contrato de compra-venta donde se pacta el precio de la electricidad. Si el socio se encuentra en cualquier parte de la República físicamente lejos de la planta, se tendrá que pactar con CFE la interconexión a la red, a través de un contrato de interconexión, y acordar los términos para el porteo de la electricidad por medio de un contrato de porteo. Las tarifas y términos de estos contratos son aprobados por la CRE, quien fija metodologías para el cálculo de las tarifas. Si no es el caso, y si se encuentran físicamente cerca de la PC, se puede levantar un tendido eléctrico únicamente para transportar la energía a la empresa requerida sin tener que interconectarse a CFE, en cuyo caso el tendido pertenece a la empresa titular de la planta cogeneradora.
- b) Utilicen o generen vapor, la energía térmica. Se refiere a que este tipo de asociados a la cogeneración que pueden disponer de la energía generada por la PC



tienen que ser productores de insumos que sirvan para generar, tal es el caso de vapor (para generar con turbina de vapor), o que generen los combustibles que dan lugar a los procesos base de la cogeneración .

Cualquier otro tipo de consumidor de energía eléctrica que no se encuentre en los puntos mencionados no puede ser prospecto a consumir electricidad de la planta cogeneradora según lo marca el RLSPEE.

Así pues, como señalamos anteriormente, para la obtención o aprovechamiento de un permiso de cogeneración será indispensable que:

La electricidad generada sea destinada a la satisfacción de las necesidades de establecimientos asociados, copropietarios o socios de la planta de cogeneración que dan lugar a los procesos base de la cogeneración.

Asimismo, es requisito de ley que el solicitante se obligue a poner sus excedentes de producción de energía eléctrica a disposición de CFE, mismos excedentes que serán pagados por CFE conforme a términos aprobados por la CRE.

El permiso de cogeneración tendrá duración indefinida, e impondrá al titular una serie de obligaciones y restricciones, tanto en materia de seguridad, como en materia de definición de usuarios autorizados, condiciones operativas, entre otros. Cualquier ampliación de capacidad, incorporación de nuevos usuarios, modificación de la tecnología aprobada, requerirá la previa autorización de la autoridad reguladora.

Teniendo el permiso de la CRE para cogenerar, tanto el titular de la planta como los establecimientos asociados a la cogeneración tendrán que reportar periódicamente a dicho organismo, el tipo y cantidad de combustible utilizado.



#### III.4.- La autoridad reguladora

---

La Comisión Reguladora de Energía (CRE) es un organismo autónomo que depende de la Secretaría de Energía (SENER), y cuenta con autonomía técnica y financiera. Se rige por la Ley de la Comisión Reguladora de Energía. Dentro de sus facultades se encuentra la expedición de directivas y metodologías que regulan los términos y condiciones conforme a los cuales tanto CFE presta sus servicios como los privados realizan actividades de generación. Tiene asimismo la capacidad de sancionar a todo aquél que realice actividades no autorizadas mediante un permiso específico. La CRE está formada por cinco comisionados independientes e inamovibles, nombrados por el Presidente de la República.

#### III.5.- Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)

---

La implantación de autogeneración y generación no es un problema tecnológico o técnico. El hecho es que cualquier persona física o moral puede generar la energía para su propio consumo y los sobrantes venderlos al proveedor encargado o comisionado por los gobiernos en diferentes países, para generar y distribuir la energía eléctrica; esto implica establecer una serie de leyes y reglamentos o regulaciones, para definir los procedimientos necesarios para los permisos, contratos de compraventa y otros asuntos relacionados con la autogeneración y cogeneración.

En México no había leyes ni reglamentos para la cogeneración, aunque implícitamente, es decir, discrecionalmente se otorgaban los permisos para tales casos, cuando la energía térmica y eléctrica era para el consumo propio.

Dadas las ventajas que ofrecen los sistemas de cogeneración en el ahorro de energéticos primarios de un país, el gobierno mexicano ha estado tratando de impulsarlo y como una de las primeras medidas de apoyo ha desarrollado un marco regulatorio en esta área.



La LSPEE es el ordenamiento al que corresponde especificar claramente el tipo de inversión privada destinada a la generación de energía eléctrica donde establece que todo aquel que quiera instalar una planta de cogeneración que exceda los 500 kW necesitará invariablemente el permiso que otorga la CRE, en caso contrario no se necesitará permiso. En el Reglamento de la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica (RLSPEE) se encuentran desarrollados a detalle los requisitos necesarios para poder obtener el permiso de la CRE, entre los cuales se encuentran:

- Información de la empresa
- Ubicación de la planta
- Capacidad de generación
- Ubicación (dónde se consumirá la energía generada)
- Abastecimiento de combustible (qué tipo y qué cantidad requerirá)
- Disponibilidad de excedentes
- Respaldo de CFE

Es indispensable mencionar que este permiso es independiente de los permisos municipales como uso de suelo, licencia de construcción, estudio de riesgo e impacto ambiental que tienen que obtenerse para el desarrollo del proyecto.

### **III.6.- Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (RLSPEE)**

---

El 31 de mayo de 1993 se publicó el Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica con la finalidad de establecer los procedimientos para las actividades que no se consideran como servicio público:

- a) Cogeneración.- Eficiencia energética mayor, reducción de costos de producción, establecimientos asociados y excedentes eléctricos a disposición de CFE.



- b) Autoabastecimiento.- Cubrir únicamente necesidades propias, no se permite entregar energía eléctrica a terceras personas que no sean socios de la empresa titular del permiso correspondiente. Es importante señalar que en realidad, la cogeneración no es sino una tecnología de autoabastecimiento.
- c) Producción independiente.- Para la venta total de la capacidad y energía eléctrica asociada a la CFE, mediante contratos de largo plazo.
- d) Pequeña producción.- únicamente nacionales, su totalidad deberá ser vendida a CFE con una capacidad no mayor a 30 MW; destinado para comunidades rurales o áreas aisladas que carezcan de energía eléctrica ni líneas de transmisión, autoconsumo.
- e) Importación o exportación.- Conducción, transformación y entrega por los propietarios, uso temporal de la red del sistema nacional.<sup>12</sup>

### III.7.- Instrumentos para impulsar el desarrollo de la cogeneración en México<sup>13</sup>

---

A fin de impulsar el uso de esta tecnología e incrementar así la capacidad de producción a nivel nacional, resulta importante modificar los requisitos que nuestro país impone a los proyectos de cogeneración e implantar instrumentos que sirvan como motivadores para que estos proyectos mejoren hasta hacerlos viables. Además los instrumentos que se mencionarán posteriormente, son utilizados en diversos países y se clasifican en instrumentos fiscales, económicos, técnicos, legales, ambientales y financieros.

- Eliminar el requisito actual de ser accionista de la planta de cogeneración para poder recibir energía eléctrica generada por la misma; en la propuesta de

---

<sup>12</sup> Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (RLSPEE)

<sup>13</sup> Elementos para la exposición de motivos y la elaboración de un régimen especial para la cogeneración en el mercado eléctrico mexicano, Mayo 2002, Jorge Maya Serrano, Subdirector de Cogeneración (CONAE)





reforma a la Constitución presentada por el titular del ejecutivo federal Vicente Fox se plantea que esta energía podría venderse además a usuarios calificados (consumo > 2.5 MWh/año)

- Derechos de vía y transporte de gas.- La mayoría de las plantas de cogeneración actuales utilizan tecnología de ciclo combinado, y como tales, consumen gas natural. Actualmente para poder interconectar el sistema nacional de gasoductos con la planta de cogeneración, el desarrollador de los ductos de transporte tiene que hacer las negociaciones con cada uno de los dueños de la tierra por donde tenga que pasar el ducto, lo cual vuelve el proceso lento, costoso, y en ocasiones inviable; la industria requiere un mecanismo por el cual exista un apoyo directo del gobierno estatal o municipal para obtener los derechos de vía, mediante un mecanismo expedito de limitación de dominio. Lo mismo sucede con los tendidos eléctricos. Lo anterior, aunado con otras medidas de promoción, podría impulsar un mayor desarrollo de la industria de transporte de gas natural, fundamental para la viabilidad de un proyecto de cogeneración, pues sin la cercanía de un gasoducto que suministre a la planta, el proyecto resulta no viable.
- El contrato de suministro de gas natural es el elemento más difícil desde el punto de vista legal y de viabilidad del proyecto. La mayoría de los proyectos dependen de la existencia de capacidad de transporte de gas en los ductos de Pemex-Gas y Petroquímica Básica (PGPB), y de poder negociar un contrato de suministro de gas natural con el área de comercialización de PGPB, en términos razonables comercialmente. Como PGPB es el monopolio en el suministro de gas, los términos y condiciones bajo los que puede vender el gas están regulados por directivas de la CRE, pero existen muchos puntos abiertos y es complicado asegurar el suministro. Conforme al mercado actual, la otra opción



es gas importado, y que exista capacidad de transporte ya sea en ductos privados de gas o en el sistema de PGPB.

- Depreciación acelerada.- Es la porción de la inversión que puede ser deducida como ingreso gravable en un cierto año. En la actualidad existe depreciación a 20 años o 5% anual; una depreciación rápida a 10 años, da lugar a beneficios fiscales más temprano en la vida del proyecto y es preferida por los inversionistas.
- Créditos fiscales a la inversión.- Se proporciona al inversionista o propietario un crédito fiscal anual basado en el monto de la inversión realizada. Actualmente no existe
- Créditos fiscales sobre operación.- Se proporciona al inversionista o propietario un crédito fiscal anual basado en la cantidad de electricidad generada. Al poner énfasis en la producción, se estimula el comportamiento óptimo del proyecto. Actualmente no existe
- Sobreprecio temporal del pago de energía.- Implantar un pago fijo adicional al generador por cada kWh producido, de tal forma que el proyecto sea rentable. Actualmente no existe.
- Incentivos por bajo impacto ambiental.- La producción de energía eléctrica por medio de la cogeneración es más limpia que si se produce convencionalmente, disminuyendo las emisiones de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y el calentamiento global. Los "mercados verdes" es uno de los Mecanismos de Desarrollo Limpio creado bajo el protocolo de Kioto para obtener financiamiento en proyectos de generación de electricidad con Cogeneración.

## CAPÍTULO IV. EJEMPLO DE APLICACIÓN



El estudio de viabilidad de instalar una planta de cogeneración se realizó en una empresa farmacéutica cuyos principales productos producidos son insecticidas para la eliminación de plagas; es una marca conocida y posicionada en el mercado y su principal problema es que tienen interrupciones de energía eléctrica que originan paros que se traducen en miles de pesos al año. Además han notado que la calidad del servicio eléctrico por parte de LyFC es deficiente (entregando voltajes con mucha variación). De aquí surgió la idea de instalar un sistema de ccgeneración que proporcionara lo que ellos necesitaban, confiabilidad y seguridad en el suministro de energía eléctrica aportando también múltiples beneficios que se mencionaron en el capítulo dos (antecedentes).

El planteamiento del proyecto es satisfacer al 100% los requerimientos térmicos que necesitan para operar y en el caso de que no cubrieran por completo sus requerimientos eléctricos, tendrían que comprar la energía faltante a CFE. Por el contrario, si generan excedentes eléctricos, su totalidad se vendería a CFE y se tendría que contratar con esta dependencia un servicio de interconexión, para trasladar los excedentes a la red.

En este proyecto no existen clubes de consumidores, o grupos de establecimientos asociados a la cogeneración quedando por sentado que sólo la empresa farmacéutica podrá disponer de la energía eléctrica generada por la planta de cogeneración.

Es necesario que toda planta de cogeneración contrate con CFE un servicio de respaldo (requisito para obtener el permiso de la CRE)

Aunque el excedente térmico se puede vender sin el requerimiento de algún permiso, en este proyecto no se plantea tal caso debido a que en el transporte de dicha energía se pierde gran parte, aún estando físicamente cerca de la planta y además porque se tendría que pactar con el comprador el precio de la energía térmica excedente.

Se solicitó información de la empresa para poder hacer el estudio y estos fueron los datos conseguidos.



Tabla 2.- Horario de trabajo

HORAS/DÍA / SEMANA 24 / 05 / 50			
LUNES	X	MARTES	X
MIERCOLES	X	JUEVES	X
VIERNES	X	SABADO	LIBERAL
DOMINGO	LIBERAL		
SEMANAS AL AÑO EN OPERACION 50			
PERIODO DE VACACIONES SEMANA 52			
PERIODO DE MANTENIMIENTO SEMANA 52 Programa preventivo			

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Tabla 3.- Generación de vapor

Generador de vapor	Equipo 1	Equipo 2
Marca	Claever Selmec	Claever Broks
Generación de vapor	4,5000 kg/h	600 CC
Presión de diseño	7 kg/cm <sup>2</sup>	7 kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura del vapor	Saturación	Saturación
Combustible	Gas natural	Gas natural

Tabla 4.- Facturación eléctrica

mes	Demanda			Consumo			Factor de Potencia
	Punta	Intermedio	Base	Punta	Intermedio	Base	
	KW			kWh			
1	867	1,299	810	63,000	297,000	138,000	0.949
2	1,122	1,209	744	72,000	267,000	120,000	0.951
3	1,167	1,356	1,194	66,000	348,000	166,000	0.937
4	1,158	1,269	1,215	36,000	372,000	171,000	0.906
5	1,206	1,338	1,038	33,000	372,000	153,000	0.912
6	1,170	1,254	1,125	36,000	357,000	147,000	0.917
7	987	1,302	1,062	42,000	357,000	174,000	0.917
8	1,092	1,371	954	33,000	369,000	150,000	0.926
9	1,152	1,302	978	30,000	315,000	111,000	0.917
10	1,131	1,329	858	42,000	303,000	102,000	0.915
11	1,176	1,311	822	84,000	294,000	117,000	0.909
12	1,176	822	1,311	84,000	117,000	294,000	0.912
<b>Promedio</b>	<b>1,117</b>	<b>1,264</b>	<b>1,009</b>	<b>51,750</b>	<b>314,000</b>	<b>153,500</b>	<b>0.922</b>



Tabla 5.- Consumo de combustible para generar los requerimientos térmicos a proceso

MES	Caldera principal	Caldera de respaldo	COSTO [\$/m3]
	CANTIDAD [m3]	CANTIDAD [m3]	
1	139,339.00	97,537.30	1.49
2	104,178.00	72,924.60	1.55
3	127,163.00	89,014.10	1.53
4	85,742.00	60,019.40	1.52
5	89,729.00	62,810.30	1.48
6	98,809.00	69,166.30	1.45
7	93,352.00	65,346.40	1.45
8	94,508.00	66,155.60	1.45
9	90,645.00	63,451.50	1.45
10	97,377.00	68,163.90	1.52
11	90,943.00	63,660.10	1.47
12	85,000.00	59,500.00	1.47

Tabla 6.- Producción mensual de vapor/agua

MES	CALDERA 1 ton/mes	CALDERA 2 ton/mes	HORAS DE OPERACIÓN
1	1032	respaldo	720
2	907	respaldo	720
3	821	respaldo	720
4	870	respaldo	720
5	903	respaldo	720
6	977	respaldo	720
7	995	respaldo	720
8	930	respaldo	720
9	823	respaldo	528
10	691	respaldo	528
11	808	respaldo	528
12	700	respaldo	400



Tabla 7.- Producción típica de vapor

No. Calderas	Presión de vapor a proceso (kg/cm <sup>2</sup> )	Temp. Vapor a proceso [°C]	Flujo de Combustible (m <sup>3</sup> /hr)	Producción de vapor (ton/hr)	Temperatura agua de alimen. [°C]	Flujo de agua alimentación (ton/hr)
1	7	158	130	2	90	0.76
2	7	158	0	0	0	0

Actualmente esta planta cuenta con dos generadores de vapor con los datos nominales mostrados en la tabla 3. La demanda típica de vapor es de 2 t/h, pero una parte de vapor es usado para el comedor, vestidores y el resto es para el proceso. El generador de vapor 2 se encuentra de respaldo.

Con base a la información proporcionada, se encuentra que la demanda máxima de la planta es de 1371 kW, y se presentó en el 8° mes durante el periodo intermedio. Esto implica que la demanda antes mencionada dará la pauta para determinar la capacidad de la tecnología a utilizar que la satisfaga completamente.

# CAPÍTULO V. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA





#### IV.1.- Evaluación Técnica

El objetivo de esta evaluación es determinar el potencial de cogeneración de la empresa farmacéutica y la factibilidad de instalar un sistema de cogeneración para evitar paros de producción y mejorar la confiabilidad en el suministro de energía eléctrica.

##### IV.1.1.- Selección del sistema de cogeneración

Con base a la información obtenida se determinó que la relación calor/electricidad (Q/E) es 1.62, lo que implica que la tecnología apropiada es la instalación de un motor de combustión interna (ver tabla 1, pag 13). Aunque también se pudiera seleccionar un sistema de cogeneración con turbina de gas, no es factible debido a que los requerimientos de energía térmica y eléctrica son pequeños y el sistema estaría sobrado lo cual haría que el proyecto no fuera rentable económicamente por su mayor inversión. Además, al estar dentro de la relación mínima y máxima nos asegura que en caso de no tener flexibilidad el sistema de cogeneración, no habrá despido de energía. La siguiente tabla muestra los datos utilizados para encontrar la relación Q/E.

Tabla 8.- Relación Calor Electricidad (Q/E)

mes	kWt	kWe	Q/E kWt/kWe
1	2,026	1,299	1.62
2	1,514	1,209	
3	1,849	1,356	
4	1,246	1,269	
5	1,304	1,338	
6	1,436	1,254	
7	1,357	1,302	
8	1,374	1,371	
9	1,797	1,302	
10	1,930	1,329	
11	1,803	1,311	
12	2,224	1,311	
			max kWt/max kWe



El motor de combustión interna comercial será el que más se acerque a la demanda de 1371 kW (ver tabla 4, pag. 38), por lo que se seleccionó un motor de 1656 kW, y una generación de vapor saturado a 7 kg/cm<sup>2</sup> de 1,196 kg/h, obteniéndose 19 m<sup>3</sup>/h de agua caliente a 90 °C para vestidores y el comedor. (ver figura 5, pag. 45).

DATOS DEL MOTOR		
Combustible suministrado=	4,787	kW
potencia generada=	1,656	kW
energía térmica=	1,499	kW
producción de vapor=	1,196	Kg/h
agua caliente=	19	m <sup>3</sup> /h
eficiencia térmica=	31.31%	
eficiencia eléctrica=	34.59%	

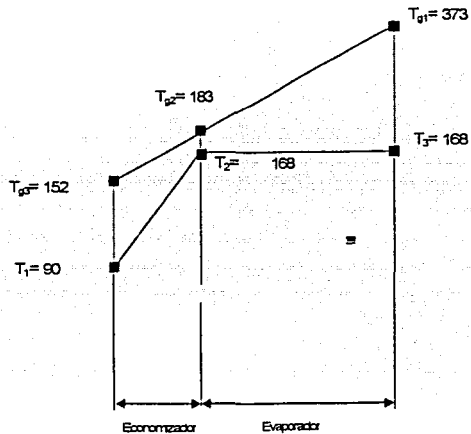
PROGRAMA DE SERVICIO TÉCNICO	hrs	año
Cambio de aceite	500	0.1
Afinación	3,000	0.4
Calibración de punterías	15,000	2
Revisión general	30,000	4
Cambio de motor	70,000	9



IV.1.2- Datos del recuperador de calor

Datos conocidos		Cantidad	Unidades
Flujo másico del gas	$\dot{m}_g$	13.022	kg/h
Temperatura del gas	$T_{g1}$	373	$^{\circ}\text{C}$
Temperatura Pinch Point	$T_{pp}$	15	$^{\circ}\text{C}$
Presión de vapor	$P_1$	754	kPa
Temperatura agua de alimentación	$T_1$	90	$^{\circ}\text{C}$
Temperatura de saturación	$T_2$ y $T_3$	168	$^{\circ}\text{C}$

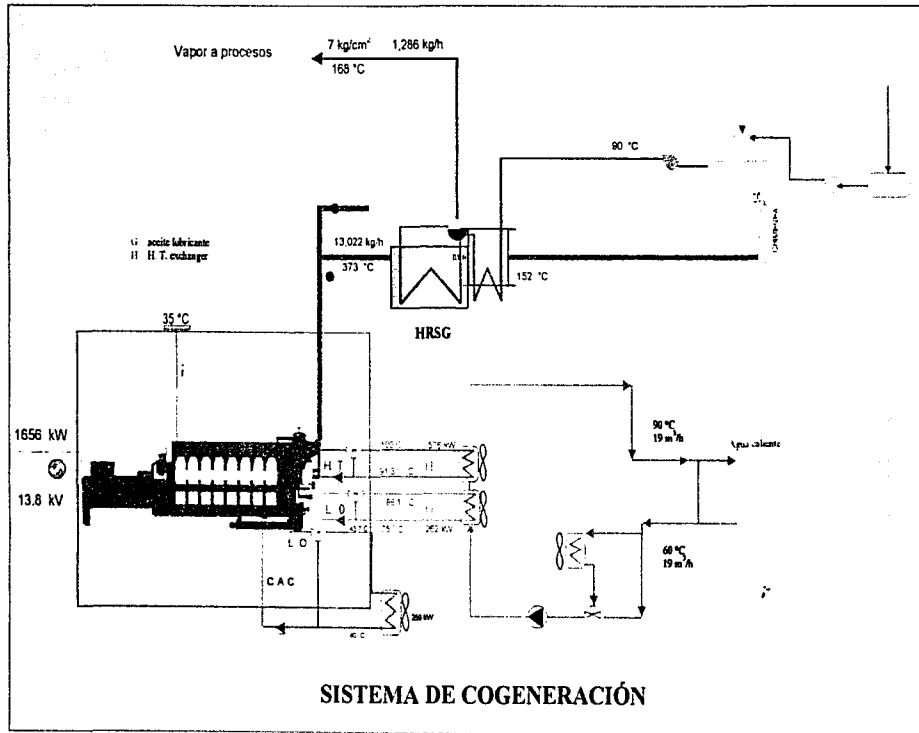
TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



Datos calculados a presión de 754 kPa (7.7 kg/cm<sup>2</sup>)

	temp gas ( $^{\circ}\text{C}$ )		agua / vapor ( $^{\circ}\text{C}$ )		Calor kW	Flujo (kg/h)	Pinch point ( $^{\circ}\text{C}$ )
	entrada	salida	entrada	salida			
Evaporador	373	183	168	168	749.8	1.266	15
Economizador	183	152	90	168	121.3	1.266	

Figura 5.- Diagrama del Sistema de Cogeneración





#### IV.2.- Evaluación económica

---

El fin de esta evaluación, es determinar la viabilidad del proyecto, así como su tiempo de recuperación, y para ello es necesario diferenciar la inversión necesaria de los costos y los ingresos (que en este caso es un ahorro) que se tomarán en cuenta en este proyecto. La inversión inicial del sistema consta del motor de combustión interna, el recuperador de calor, la preparación general del sitio que incluye instalaciones de agua, gas, obra civil, etc. Los gastos del sistema de cogeneración son el consumo de combustible (Gas Natural), operación y mantenimiento de la planta, respaldo eléctrico, respaldo térmico y el seguro de la planta. El ahorro esta representado por lo que la empresa farmacéutica va a dejar de pagar una vez instalada la planta de cogeneración y son la facturación eléctrica que consumen a LyFC y la facturación del combustible utilizado en las dos calderas para la generación de los requerimientos de vapor para el proceso.

Se determinó que la tecnología más conveniente para cogenerar en esta empresa farmacéutica, es el motor de combustión interna; por lo tanto se investigó el costo de este equipo y resultó de 1,868,100 dólares americanos. Cabe mencionar que este costo incluye el motor, el recuperador de calor y el servicio técnico especializado requerido para su cuidado y buen funcionamiento; y no incluye la preparación general del sitio, impuestos, ni fletes.

Se realizó la evaluación hasta nueve años porque normalmente este tipo de proyectos se recupera entre 5 y 10 años y se tomaron diferentes tasas de descuento para ver el comportamiento de cada decisión y determinar el año en que se recuperaría la inversión. Se considera que si la inversión se recupera en más de diez años, el proyecto ya no es atractivo para los inversionistas aunque la última palabra la tienen ellos.

Con base a los datos proporcionados por la planta y a las investigaciones de costos realizados, se elaboró la siguiente tabla:



Tabla 9.- Datos generales

Tipo de sistema de cogeneración	Motor de combustión
Potencia nominal	1,656 kWe
Potencia en sitio	1,408 kWe
<b>ENERGÍA ELÉCTRICA TOTAL GENERADA</b>	<b>11,097,518 kWh/año</b>
<b>ENERGÍA ELÉCTRICA AUTOCONSUMIDA</b>	<b>6,231,000 kWh/año</b>
Energía eléctrica de punta	621,000 kWh/año
Energía eléctrica de base	1,665,000 kWh/año
Energía eléctrica intermedia	3,945,000 kWh/año
Demanda eléctrica	1,237 kW/mes
<b>ENERGÍA ELÉCTRICA EXCEDENTE (GENERADA)</b>	<b>4,866,518 kWh/año</b>
Energía eléctrica de punta	486,652 kWh/año
Energía eléctrica de base	2,433,253 kWh/año
Energía eléctrica intermedia	1,946,607 kWh/año
Demanda eléctrica en firme	22 kW/mes
<b>ENERGÍA ELÉCTRICA DE RESPALDO</b>	<b>623,100 kWh/año</b>
Energía eléctrica de punta	62,100 kWh/año
Energía eléctrica de base	166,500 kWh/año
Energía eléctrica intermedia	394,500 kWh/año
Demanda reservada	125 kW/año
Demanda eléctrica medida	1,237 kW/mes
CONSUMO DE COMBUSTIBLE (SISTEMA DE COGENERACION)	30,654,182 Mcal/año
CONSUMO DE COMBUSTIBLE (RESPALDO TÉRMICO)	4,348,583 Mcal/año
CONSUMO DE GAS NATURAL (SISTEMA ACTUAL)	43,485,833 Mcal/año
ENERGÍA TÉRMICA AUTOCONSUMIDA (VAPOR) 2ton/h	14.892 ton/año
Precio inicial de kWh excedente	0.0327 USD/kWh <sup>14</sup>

<sup>14</sup> CONAE, Subcomisión para Promover Proyectos de Cogeneración en México, 1996



## EVALUACIÓN TÉCNICA Y ELÉCTRICA

### Tarifa H-M región centro (JUNIO 2002)

Cargo energía punta	1.3133 \$/kWh
Cargo energía base	0.351 \$/kWh
Cargo energía intermedia	0.4202 \$/kWh
Cargo por demanda	69.51 \$/kW

### Tarifa eléctrica de respaldo

#### Tarifa HIM-R región centro (JUNIO 2002)

Cargo energía punta	0.4304 \$/kWh
Cargo energía base	0.351 \$/kWh
Cargo energía intermedia	0.3613 \$/kWh
Cargo por demanda medida	5.25 \$/kW
Cargo por demanda reservada	24.84 \$/kW
Cargo fijo	740.27 \$/año

### Consumo gas natural (sistema actual)

4,086,320 \$/año

### Costo gas natural

0.00954 USD/Mcal <sup>15</sup>

### Poder calorífico del gas natural

9000 kcal/m<sup>3</sup>

### COSTO OPERACION Y MANTENIMIENTO (sin combustible)

0.0015 USD/kWh

### Seguro (como % de la inversión)

0.45%

### Factor de planta

85%

### Número de horas al año

8760 h

Inversión inicial (MOTOR Y REC)

18,400,785

preparación general del sitio

3,680,157

Permisos

200,000

impuestos y fletes

3,312,141

**Total Inversión Inicial**

**25,593,083**

<sup>15</sup> Comisión Reguladora de Energía, agosto 2000. Costo del gas natural: 3.705 USD/MBTU



TABLA 10.- Ingresos (ahorro) y Egresos del sistema de cogeneración

ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

SISTEMA COGEN (AHORRO)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Facturación de energía eléctrica		4,075,002	4,250,277	4,432,987	4,623,606	4,822,421	5,029,785	5,246,066	5,471,646	5,706,927
Facturación de combustible		3,026,904	3,157,061	3,297,814	3,434,405	3,582,085	3,736,114	3,896,767	4,064,328	4,239,095
Costo por paro		735,663	767,297	800,291	834,703	870,595	908,031	947,076	987,801	1,030,276

SISTEMA COGEN (INGRESOS)

Venta de excedentes eléctricos		1,567,481	1,634,883	1,705,183	1,778,506	1,854,982	1,934,746	2,017,940	2,104,711	2,195,214
									VR	6,925,092

Total ingresos

		9,405,051	9,809,468	10,231,275	10,671,220	11,130,083	11,608,676	12,107,849	12,628,487	20,096,604
--	--	-----------	-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

SISTEMA COG (EGRESOS)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Combustible (gas natural)		2,880,543	3,014,406	3,133,596	3,268,340	3,408,879	3,555,461	3,708,346	3,867,804	4,034,120
Operación y mantenimiento		163,966	171,016	178,370	186,040	194,040	202,383	211,086	220,163	229,630
Costo respaldo eléctrico		222,275	231,832	241,801	252,199	263,043	274,354	286,151	298,456	311,289
Costo respaldo térmico		302,690	315,706	329,281	343,441	358,208	373,611	389,677	406,433	423,909
Seguro		115,169	120,121	125,285	130,674	136,293	142,153	148,266	154,641	161,291

Total egresos

		3,684,643	3,843,082	4,008,335	4,190,693	4,360,463	4,547,963	4,743,525	4,947,497	5,160,239
--	--	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

TOTAL

		25,593,083	5,720,408	5,968,386	6,222,941	6,490,527	6,769,620	7,060,713	7,364,324	7,680,990	14,936,364
--	--	------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------





Tabla 11.- Valor Presente Neto (VPN)

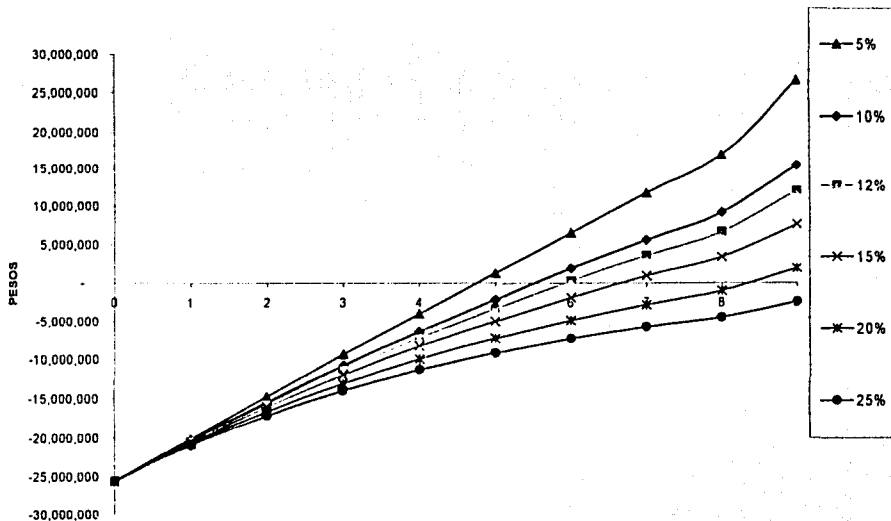
Año	Concepto	valor	5%		10%		12%	
			VP	VPN	VP	VPN	VP	VPN
0	Inversión	- 25,593,083	- 25,593,083	- 25,593,083	- 25,593,083	- 25,593,083	- 25,593,083	- 25,593,083
1	C1	5,720,408	5,448,008	20,145,075	5,200,371	20,392,712	5,107,507	20,485,576
2	C2	5,966,386	5,411,688	14,733,387	4,930,897	15,461,815	4,756,366	15,729,210
3	C3	6,222,941	5,375,610	9,357,777	4,675,387	10,786,427	4,429,366	11,299,843
4	C4	6,490,527	5,339,773	4,018,005	4,433,117	6,353,310	4,124,847	7,174,996
5	C5	6,769,620	5,304,174	1,286,169	4,203,401	2,149,909	3,841,264	3,333,732
6	C6	7,060,713	5,268,813	6,554,982	3,985,549	1,835,680	3,577,177	243,445
7	C7	7,364,324	5,233,688	11,788,670	3,779,053	5,614,742	3,331,246	3,574,691
8	C8	7,680,990	5,198,796	16,987,466	3,583,248	9,197,981	3,102,223	6,676,914
9	C9 + VR	14,936,364	9,628,114	26,615,580	6,334,477	15,532,457	5,386,203	12,063,117

TASA DE DESCUENTO

Año	Concepto	valor	15%		20%		25%	
			VP	VPN	VP	VPN	VP	VPN
0	Inversión	- 25,593,083	- 25,593,083	- 25,593,083	- 25,593,083	- 25,593,083	- 25,593,083	- 25,593,083
1	C1	5,720,408	4,974,268	20,618,815	4,767,007	20,826,076	4,576,327	21,016,757
2	C2	5,966,386	4,511,445	16,107,370	4,143,324	16,682,753	3,818,487	17,198,270
3	C3	6,222,941	4,091,684	12,015,686	3,601,239	13,081,514	3,106,146	14,012,124
4	C4	6,490,527	3,710,980	8,304,706	3,130,077	9,951,437	2,658,520	11,353,604
5	C5	6,769,620	3,365,697	4,939,009	2,720,558	7,230,879	2,210,269	9,135,335
6	C6	7,060,713	3,052,541	1,886,467	2,361,619	4,866,261	1,810,924	7,284,412
7	C7	7,364,324	2,768,522	882,055	2,055,248	2,811,013	1,544,411	5,740,001
8	C8	7,680,990	2,510,929	3,392,984	1,786,353	1,024,660	1,288,656	4,451,345
9	C9 + VR	14,936,364	4,245,847	7,638,831	2,894,767	1,870,107	2,004,725	2,446,620



Figura 6.- Función del Valor Presente



	Años	
Tasa de descuento	12	%
VPN	12,063,117	\$
TIR	22.16	%
PRI	5.93	Años
B/C	1.47	

# CONCLUSIONES



Como es de esperarse, en poco tiempo el problema de la energía eléctrica en México se agravará y el crecimiento del sector eléctrico, estará estrechamente relacionado con la participación del sector privado y con la introducción de productores externos, ya que la capacidad de CFE y LyFC no podrá satisfacer la demanda requerida a corto plazo de energía eléctrica a nivel nacional, pues en la actualidad, se están viendo alcanzados y se vislumbran rebasados si no se hace algo al respecto.

A pesar del incremento en la capacidad instalada que estas organizaciones ya están contemplando, es necesario contribuir de alguna forma en el desarrollo del sector eléctrico, porque finalmente los involucrados somos tanto los usuarios como consumidores, como los productores de esta energía; por esta razón, la cogeneración se perfila como una técnica a utilizar en los próximos años siempre y cuando se establezca un régimen especial para su aplicación en México, como ha sucedido en diversos países con gran éxito.

La empresa a la que se le realizó el estudio para determinar la viabilidad para instalar una planta de cogeneración, se dedica a la producción de insecticidas, y requiere tanto energía térmica, como eléctrica, lo cual la hace candidata para instalar un proyecto de este tipo.

Revisando los requerimientos energéticos de la empresa en estudio, y realizando la evaluación correspondiente para instalar un sistema de cogeneración, se determinó que la tecnología más adecuada a utilizar es un motor de combustión interna, con una potencia nominal de 1656 kW que generará 11,097,518 kWh/año, de los cuales 6,231,000 kWh/año será la energía autoconsumida (para la propia empresa) y el restante 4,866,518 kWh/año será energía eléctrica excedente (para vender a CFE).

El combustible que utilizará este motor, será gas natural y como se ha mencionado en capítulos anteriores, la utilización de este energético no ayuda en lo absoluto a que el proyecto se vuelva más rentable debido a la dificultad para obtener los derechos de vía (en los lugares por donde pasará el ducto), falta de contratos a largo plazo para asegurar el



abastecimiento de este combustible, etc.; en cambio tiene otros beneficios como menor impacto ambiental, es decir, se genera energía eléctrica más limpia, lo cual implica que no se contaminará tanto al medio ambiente.

Toda la energía tanto eléctrica como térmica, requerida por la empresa farmacéutica, será abastecida de la planta de cogeneración y los excedentes eléctricos, serán vendidos a CFE por la planta de cogeneración, por lo tanto, no se tendrán clubes de consumidores asociados a la cogeneración. Esto hace que la complejidad para obtener el permiso de cogeneración sea menor porque no se tendrá que hacer contrato con CFE para la transportación de la energía (porteo)<sup>16</sup>.

Es necesario comentar que aunque la gran mayoría de proyectos de cogeneración se llevan a cabo, estos no sólo dependen de la viabilidad económica ni técnica que estos presenten, sino que deben apegarse a los lineamientos que cada país tiene con respecto a su marco regulatorio del sector eléctrico. En nuestro país, estos requisitos, para cogenerar, los establece la Comisión Reguladora de Energía (CRE), organismo dependiente de la Secretaría de Energía (SENER), pero con facultades autónomas, y dentro de ellas se encuentran el poder desde establecer requisitos para otorgar permisos, hasta el establecimiento de términos y condiciones en las que CFE deberá prestar sus servicios.

En México no existe gran conocimiento sobre esta técnica que es de gran ayuda tanto para el industrial, como para nivel país y es debido a esto que los inversionistas no se inclinan por este tipo de proyectos, pero en pocos años, esta tecnología será aplicada en mayor proporción, dependiendo de la velocidad en que se modifiquen los requisitos y restricciones que ésta tiene para poderla hacer viable técnica, económica y legalmente.

---

<sup>16</sup> Ver cap. II (cómo funciona actualmente un proyecto de cogeneración).



La inversión requerida para este proyecto asciende a 25,593,083 pesos y la TIR, que representa la rentabilidad del proyecto es de 22.16%. Cabe mencionar que como el inversionista determina la tasa de descuento y el periodo en el que quiere recuperar su inversión, dependerá de éste determinar si el proyecto le conviene o no pero este proyecto como tal es viable, técnica, económicamente y legalmente a pesar de las barreras presentadas para este tipo de proyectos con la perspectiva de desarrollar en un futuro, un régimen especial para la cogeneración en México y de esta manera hacerlo más viable.

Para ejemplificar un poco el resultado de esta evaluación se evaluó el proyecto con una tasa de descuento de 12%; esto porque en la mayoría de las evaluaciones que hace CFE, utiliza este dato y resulta que la inversión se recupera en 6 años, y el valor presente neto es de 12,063,117 pesos.



BIBLIOGRAFÍA

F. William Payne, editor  
Cogeneration Management Reference Guide  
Prentice Hall

V. Ganapathy  
Waste Heat Boiler Deskbook  
Prentice Hall

Boletín de la Asociación Mexicana para la Economía Energética  
Año 5, número 3

Distributed Generation:  
Understanding the Economics  
An Arthur D. Little white paper  
1999

M. Farooque and H.C. Maru  
Fuel Cells - The clean efficient power generators  
Fuel Cell Energy, Inc.

Propuesta de medidas para el fomento de la cogeneración.  
Autor Grupo de representantes de la iniciativa privada  
Subcomisión para Promover Proyectos de Cogeneración  
1999

Compendio del Dr Resendiz  
El sector eléctrico en México  
Fondo de cultura económica  
1995



Luudevid Anglada, Manuel

El cambio global en el medio ambiente

Editorial Alfaomega, Barcelona España 1997

Energía Racional No. 44 Jul.-Sep. 2002

FIDE

Regulación del Sector Energético

UNAM – SENER, 1997

Portes Mascorro, Enrique y Álvarez Chávez, José María

Seminario de Inducción sobre Sistemas de Cogeneración

Comisión Nacional Para el Ahorro de Energía, 1995

La Cogeneración en México y Experiencias Internacionales

Comisión Nacional Para el Ahorro de Energía, 1997

<http://www.conae.gob.mx> (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía)

<http://www.cfe.gob.mx> (Comisión Federal de Electricidad)

<http://www.sener.gob.mx> (Secretaría de Energía)

<http://www.cre.gob.mx> (Comisión Reguladora de Energía)