



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**APLICACIONES Y PERSPECTIVAS DE LA
COGENERACIÓN EN MÉXICO**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

Presenta:

ESPARZA ESCAMILLA MIRIAM RAQUEL

Director de tesis:

M. en C. Rodrigo Ocón Valdez

Nezahualcóyotl, Estado de México, 2021





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos.

A Dios por su amor infinito.

A mi madre Concepción, mis hermanos Abraham y Emma, mis padrinos Oscar y Ana, por su guía y cuidado.

Y especialmente a mi padre Jesús Esparza Monroy, quien siempre me motivo en toda esta etapa y ahora desde el cielo desprende luz brillante para seguir y cuidar mis pasos.

Ofrezco una especial mención al M. en C. Rodrigo Ocón Valdez, por su apoyo y mentoría en este trabajo.

Índice

1.1	Antecedentes	7
1.2	Planteamiento del Problema	9
1.3	Objetivo general	9
1.4	Objetivos particulares	9
1.1	Sistema eléctrico de potencia	10
1.2	Componentes principales.....	10
1.3	Elementos de la red:	11
1.4	Transformador:	11
1.5	Tipos de transformadores	13
1.6	Líneas de transmisión	15
1.7	Conductores de la línea de transmisión:	15
1.8	Torres de suspensión	16
1.9	Aisladores:	16
1.10	Elementos de control:	18
1.11	Generadores:	18
1.12	Interruptores:.....	19
1.13	Bancos de capacitores:.....	21
1.14	Conformación del Sistema Eléctrico Nacional	23
1.15	La frecuencia de sincronización	25
1.16	Factores que afectan al SEN	25
1.17	Producción de energía en el sistema nacional	27
1.18	Enlaces internacionales	30
2.1	El Mercado Eléctrico Mayorista (MEM):.....	34
2.2	Participantes del sector eléctrico.....	35
2.3	Cambios regulatorios	37
2.4	Marco Constitucional.....	38
2.5	Políticas de transición energética.....	41
2.6	Relación con la Cogeneración de energía.....	44
2.7	Las Subastas de energía	45
2.8	Cogeneración Eficiente.....	46
3.1	Conceptos termodinámicos:.....	58

3.2 Sistema Aislado:	58
3.3 Sistema Cerrado.....	59
3.4 Sistema Abierto.....	59
3.5 Entropía (S).....	60
3.6 Entalpia (H).....	60
3.7 Procesos termodinámicos	60
3.8 Tipos de procesos.....	61
3.9 Termodinámica para la cogeneración	62
3.10 Ciclo Rankine	62
3.11 Ciclo Otto.....	66
3.12 Ciclo Miller.....	68
3.13 Ciclo Bayton	69
3.15 Cogeneración de energía.....	71
3.16 Tipo de Cogeneración.....	73
3.17 Componentes básicos de un sistema de cogeneración.....	73
3.18 Motores y turbinas	75
3.19 Motor alternativo de gas o fuel	76
3.19 Ciclo combinado con motor alternativo.....	80
3.20 Aplicaciones de la cogeneración con motores	81
3.22 Con turbina de Gas	82
3.23 Turbinas de gas de combustión interna o de ciclo abierto.....	84
3.24 Turbinas de gas de combustión externa o de ciclo cerrado	85
3.25 Con turbina de vapor.....	86
3.26 Turbinas de contrapresión y condensación	87
3.27 En ciclo combinado con turbina de gas	88
3.28 Aplicaciones de la cogeneración con turbinas	89
3.29 Clasificación de los sistemas de cogeneración	91
3.30 Impacto ambiental de las plantas de cogeneración	92
3.31 Trigeneración	93
3.32 Tetragneración	96
3.33 Ventajas de la Cogeneración para la Industria.....	98
4.1 Principales sectores cogeneradores.....	104
4.1.1 Sector del petróleo y del gas	105
4.1.2 Sector Industrial.....	106

4.2 Centrales de cogeneración en México	108
4.3 México cogenerador en el mundo.....	110
4.3.1 Líderes de la cogeneración mundial	111
4.4 Marco normativo aplicable a la cogeneración	112
4.5 Barreras que impiden el desarrollo de la cogeneración	115
4.6 Perspectivas y ventajas de la cogeneración	121
Referencias	127
Referencias de imágenes	128

I. Introducción

La electricidad es un fenómeno físico fascinante, ya que está presente en la mayoría de nuestras tareas domésticas, es la responsable de iluminar escuelas, mantener en operación equipo médico para salvar vidas, alimentar a las grandes industrias para nosotros poder gozar de sus productos, en fin, es parte de la vida cotidiana.

La electricidad es generada por medio de muchas tecnologías, tales como hidroeléctrica, solar, eólica, termoeléctrica, nuclear, sin embargo; en México la tecnología más utilizada es la termoeléctrica, esto puede resultar inconveniente en pérdidas monetarias y para el medio ambiente, debido a los gases que se expelen a la atmósfera no son aprovechados.

La cogeneración de energía, es un procedimiento en el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil, por medio de estos “desperdicios” resultantes de la generación eléctrica, con el propósito de disminuir estas principales desventajas monetarias, ambientales y de pérdidas en la red.

En el capítulo I, se presentan los aspectos teóricos y/o técnicos de los componentes generales del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), los que son indispensables para generar, transformar y transmitir electricidad. Además, se analiza que para poder hacer esto posible en México existe un Sistema Eléctrico Nacional (SEN), el cual consiste en la división estratégica de otros cuatro subsistemas distribuidos por el país estratégicamente, para asegurar el abasto continuo y eficaz a todas las zonas del país, algunos factores que afectan su funcionamiento, enlaces internacionales, cifras de la producción de energía a nivel nacional.

En el capítulo II, se analiza la Reforma Energética, la cual tiene como principal objetivo abrir la participación privada para aumentar la competencia energética, los cambios institucionales y regulatorios que dieron paso tras su aprobación. Luego de identificar estos cambios, se describen conceptos manejados dentro la Reforma Energética, tales como el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), Suministro Básico y Calificado, Servicios Conexos, Subastas

de Energía, Demanda controlable y Certificados de Energía Limpia (CELS). Además, se hace mención al Marco Constitucional aplicable, ya que como en todo Estado de derecho es necesario conocer los límites y fundamentos para el adecuado funcionamiento del país, así como su relación con la cogeneración de energía. También se hace mención a la Cogeneración Eficiente una acreditación emitida por la Comisión Reguladora de Energía (CRE), que tiene por objetivo fomentar la participación del sector privado.

En el capítulo III, hace referencia a conceptos y ciclos termodinámicos incluidos en el funcionamiento de las turbinas y motores para comprender mejor a la cogeneración, tales como el Ciclo Otto, el Ciclo Rankine, el Ciclo Miller y el Ciclo Brayton. Después de introducir estos temas se empieza a desarrollar técnicamente a la cogeneración, tipos, aplicaciones en la industria, ventajas e impacto ambiental de plantas de cogeneración. Dentro de este capítulo también se hace mención a la trigeneración y a la cuatrigeneración de energía que son una variante de la cogeneración de energía.

En el capítulo IV, Se realiza un análisis de los principales sectores cogeneradores en el país, se hace una comparación de la cogeneración internacional central la mexicana y se menciona el marco normativo aplicable a la cogeneración en México.

Por último, se presentan las conclusiones, donde se rescata lo mas importante de este trabajo y se da una opinión propia de la cogeneración en México.

1.1 Antecedentes

La electricidad no puede ser almacenada, por ello su producción es proporcional a la demanda más las perdidas. Para cubrir esta demanda la energía se obtiene de fuentes como el petróleo, el carbón, combustibles nucleares, entre otras llamadas fuentes renovables.

Para poder hacer uso de estas fuentes en general hay que localizarlas, explotarlas, convertirla en otra forma de energía para emplearla y consumirla. En estas etapas hay repercusiones en para el medio ambiente ya que cuando la electricidad es transformada o consumida una parte es liberada al medio ambiente. Además, ya que la producción, demanda y consumo se realizan de formas individuales motiva sin desearlo a la comercialización, lo que deriva mayores implicaciones para el medio ambiente. [1]

En los últimos años se ha hablado con mucha frecuencia sobre las consecuencias del cambio climático, ya que cuando un parámetro meteorológico como la precipitación o la temperatura sale de su valor medido de muchos años, las condiciones del planeta se alternan. Esto principalmente se debe a la concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y cambios en el uso del suelo, todos ellos resultado de la actividad humana. [1]

Muchos de los residuos de las actividades humanas se liberan a la atmósfera en forma de gases y pueden permanecer suspendidos en ella por décadas o incluso siglos como el dióxido de carbono. Aunque algunos contaminantes pueden degradarse en la atmósfera depositarse en el suelo o en los océanos, o integrarse en los ciclos biogeoquímicos, sus emisiones crecientes han sido la causa de la mayoría de los problemas ambientales más importantes que enfrentamos en la actualidad: la degradación de la capa de ozono estratosférico, el cambio climático y el deterioro de la calidad del aire en las zonas urbanas. [3]

De acuerdo con datos de la actualización del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI), realizado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). México emitió 683 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente en 2015 del total de estas emisiones, 64% correspondieron al consumo de combustibles fósiles, lo que representó un incremento de 54% por ciento con respecto a las emisiones de 1990.

A parte del uso de las energías renovables que en 1981 la Organización de las Naciones Unidas (ONU), determinó que son la solar, geotérmica, eólica, biomasa, oceánica, tracción animal, hidráulica, turba y esquistos bituminosos. [2]. La cogeneración representa una buena opción para disminuir las emisiones contaminantes y supone una buena eficiencia energética.

La cogeneración surgió a finales del siglo XIX en Europa, como fin para aprovechar el calor residual de las centrales eléctricas, debido a su auge y el aumento de las necesidades energéticas, se extendió a Estados Unidos de América a principios del siglo XIX. [4]

En México en 1992, la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE), dio pie para la modalidad de cogeneración, aunque ya existían plantas operando con cogeneración con la modalidad “usos propios continuos”, desde entonces la capacidad de cogeneración en el país ha crecido lentamente. [5]

1.2 Planteamiento del Problema

La cogeneración, es una clara alternativa para aumentar la eficiencia energética, alta viabilidad económica y disminuir emisiones contaminantes en el ambiente. Sin embargo, en los últimos años, a pesar de sus múltiples beneficios, en México no ha existido el desarrollo correcto para el escenario que pueda permitir a esta tecnología promoverse.

En México, desde el año de 1995 la CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía), ha realizado estudios sobre el potencial de la cogeneración, para permitir al Gobierno Federal, establecer estrategias para fomentar a la cogeneración. No obstante, a lo anterior, estos esfuerzos no han sido suficientes para expandir esta tecnología.

Es preciso levantar la información respecto a estas cuestiones que han impedido su desarrollo, analizar su uso y sentar las bases que determinen su territorio de atención.

1.3 Objetivo general

- Presentar a la cogeneración, su aplicación, obstáculos y perspectivas

1.4 Objetivos particulares

- Presentar y analizar las barreras que impiden el desarrollo de la cogeneración en México.
- Verificar conceptos termodinámicos para la elección de un motor o una turbina en un sistema de cogeneración.
- Verificar la legislación vigente en el contexto de la situación actual de la cogeneración.
- Presentar ventajas y desventajas tras la implementación de la cogeneración.
- Analizar a las industrias en las cuales la cogeneración es opción.

Capítulo I. El Sistema Eléctrico Nacional

1.1 Sistema eléctrico de potencia

Un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), es el conjunto de elementos que permiten generar, transformar y transmitir energía eléctrica. [1]

Con el fin de llevar a hogares, escuelas, hospitales, alumbrado público e industrias electricidad, por ello, conlleva que el suministro de energía se realice con las características de continuidad de servicio, voltaje constante y de control de frecuencia requeridas [2] para así garantizar las diversas tareas del día a día.

1.2 Componentes principales

Los elementos que constituyen al SEP, se pueden clasificar de la siguiente manera:

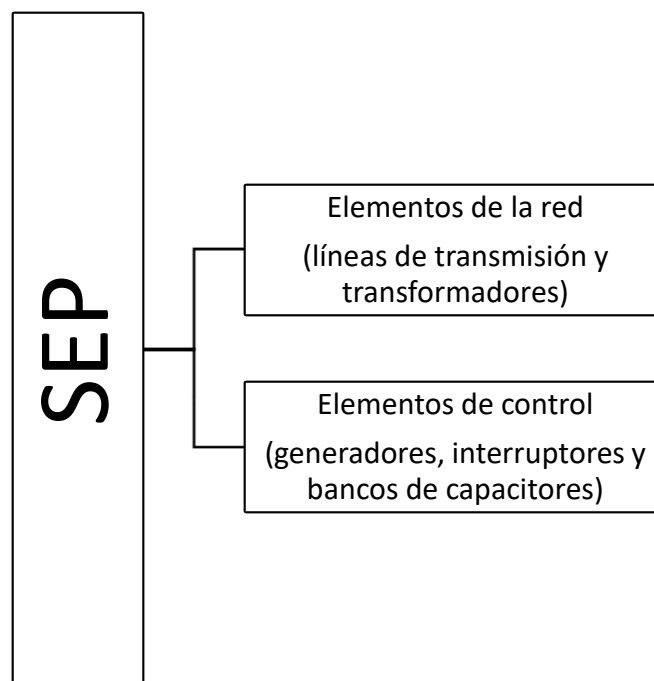


Ilustración 1: Diagrama de organización SEP

1.3 Elementos de la red:

Los elementos de la red son compuestos por el transformador y las líneas de transmisión. Como su nombre lo indica, son aquellos elementos que se encuentran en la red eléctrica y ayudarán al suministro de energía eléctrica desde los proveedores hasta los usuarios finales o consumidores. Es importante considerar que estos elementos conforman básicamente el SEP, sin embargo, hay otros factores que pueden modificar la estructura del mismo, tales como: carga a alimentar (residencial, comercial e industrial), el promedio de crecimiento de la misma, locación geográfica, etc. [3]

1.4 Transformador:

Un transformador es un dispositivo electromagnético que sirve como enlace entre los generadores y las líneas de transmisión. Bajan, elevan o aíslan (dependiendo del número de espiras) corriente alterna sin cambiar la frecuencia, su funcionamiento se basa en el fenómeno de inducción electromagnética: dos bobinas o devanados de conductores con espiras acomodadas en un núcleo magnético, que cuando se induce un voltaje en la bobina primaria, se crea un flujo magnético (ϕ_1) y como la bobina secundaria esta sobre el primario (acoplamiento magnético), este flujo traspasa a las espiras del secundario (ϕ_2) produciendo en sus extremos una tensión eléctrica. (Véase Ilustración 2: Funcionamiento de un transformador)

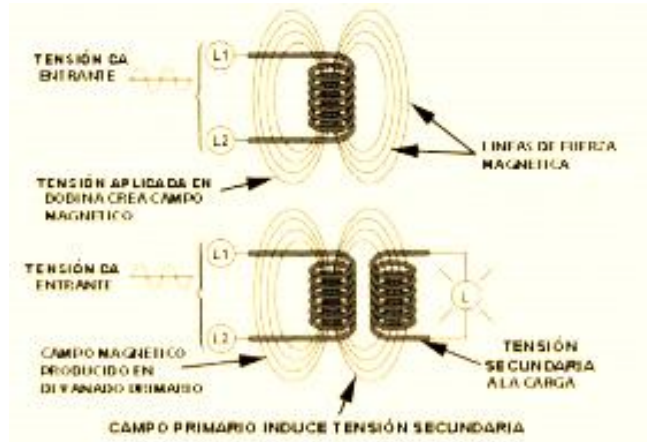


Ilustración 2: Funcionamiento de un transformador

El rol que tienen los transformadores dentro de las líneas de transmisión es cuando una vez generada la electricidad, la tensión es incrementada por transformadores, aumentando la tensión del primario al secundario, esto con la finalidad de producir una pérdida menor de energía y una mayor eficiencia global, lo que convierte al transformador en un componente importante de en los SEP, ya que permite la transmisión de energía eléctrica de una manera económicamente factible.

Los transformadores de potencia llevan la tensión y la corriente eléctrica de corriente alterna hasta niveles adecuados para la generación, transmisión, distribución y utilización de la potencia eléctrica. [4]

El producto del voltaje y de la corriente, que es la potencia permanece constante:

$$P = V \times I$$

Donde:

V: tensión (V)

I: Intensidad (A)

1.5 Tipos de transformadores

Hablando por tipo de construcción hay dos tipos de transformadores: monofásico y trifásico.

Monofásico: Una fase y un neutro, conforman su alimentación.

Trifásico: Tres fases, conforman su alimentación.

Por lo tanto, su principal diferencia es la potencia de alimentación. (Véase Ilustración 3: Monofásico y trifásico).

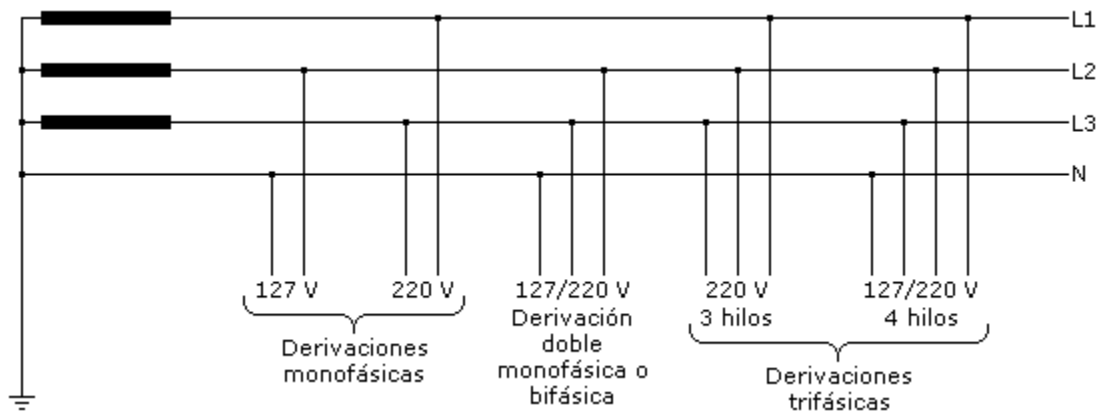


Ilustración 3: Monofásico y trifásico

Para aclarar la diferencia entre estos, se realizó la siguiente tabla comparativa:

Tabla 1: Comparación entre conexión monofásica y trifásica

Monofásico	Trifásico
Se emplean para el alumbrado residencial, toma corrientes, acondicionamiento de aire y en el lado secundario generalmente para convertir CA en CC que se utiliza en aplicaciones electrónicas.	Se encuentran en edificios comerciales e industrias, es decir, cuando hay una cantidad de energía eléctrica considerable contenida.

<p>Puede ser conectado en paralelo (se agrega intensidad de corriente) o en serie (se agrega tensión). (Véase ilustración 4 conexión paralelo y serie)</p>	<p>Hay dos configuraciones para ser conectado delta (Δ) y estrella (Y), tanto el devanado primario como el devanado secundario pueden ser conectados con estas configuraciones. (Véase ilustración 5 conexión delta y estrella)</p>
<p>Tienen dos devanados; un primario y un secundario.</p>	<p>Tienen seis devanados; tres primarios y tres secundarios.</p>

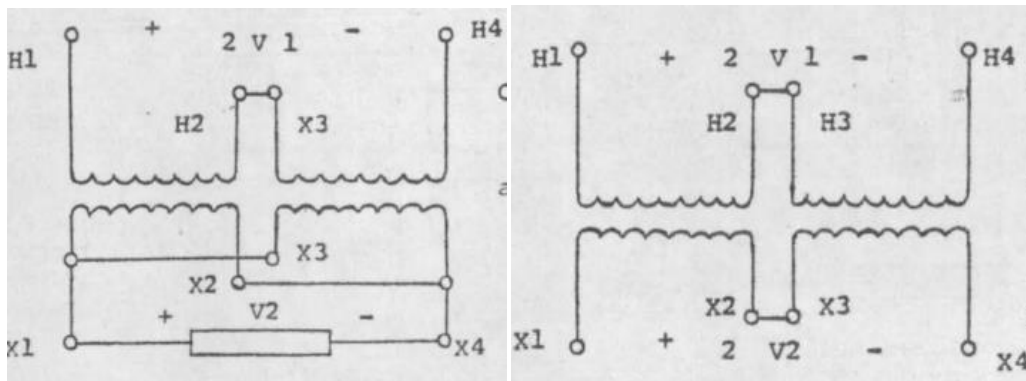


Ilustración 4: Conexión paralelo y serie

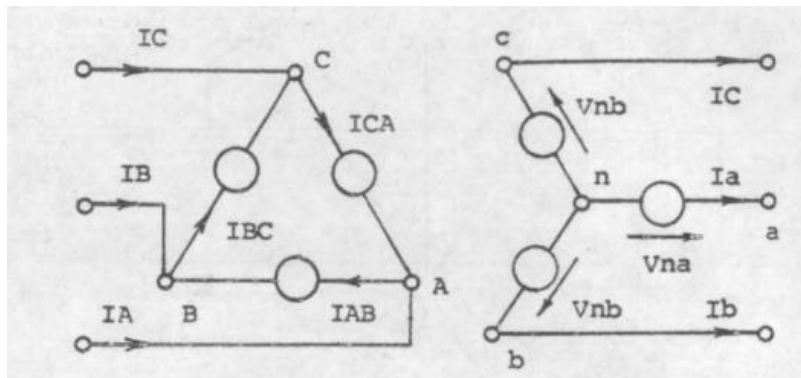


Ilustración 5: Conexión delta y estrella

1.6 Líneas de transmisión

Una línea de transmisión es el medio físico por el cual la energía se transmite desde las plantas generadoras hasta los puntos donde se transforma para ser distribuida. Se componen básicamente de conductores, aislantes y soportes.

Existen líneas de transmisión aéreas, subterráneas y acuáticas, el uso específico de cada una de ellas radica en el área geográfica que se requieran.

Las líneas tienen cuatro parámetros que afectan sus capacidades y funciones, tales como: la resistencia, la inductancia, la capacitancia y la conductancia. Este último en las líneas aéreas llega a ser despreciable, debido principalmente por condiciones atmosféricas.

1.7 Conductores de la línea de transmisión:

Se denomina conductor al medio o material por el cual permite el paso de la corriente eléctrica, para conducir la corriente eléctrica se necesita de un material que tengan una estructura con bastantes electrones con vínculos débiles, para permitir su movimiento. Las líneas de transmisión son de:

Cobre (Cu):

- I. Es un material sólido, de color rojizo e inodoro
- II. Tiene un punto de fusión de 1083°C [5]
- III. Resistente a la corrosión

Aluminio (Al):

- Es un material sólido, de color gris-plateado e inodoro
- Tiene un punto de fusión de 660°C
- En su mayoría están constituidas por aluminio ya que es más barato y liviano, aunque también son construidas por aleaciones de los mismos.

Los símbolos que identifican a los diferentes tipos de conductores de aluminio son los siguientes [4]:

- AAC: Todos los conductores de aluminio
- AAAC: Todos los conductores de aleación de aluminio
- ACSR: Conductores de aluminio con alma de acero
- ACAR: Conductores de aluminio con alma de aleación

1.8 Torres de suspensión

Para empezar a describir este punto, es importante describir los niveles de tensión establecidos en México, de acuerdo al Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica (LIE):

- Baja tensión: tensiones menores o iguales a 1 KV
- Media o mediana tensión: tensiones menores de 1 KV e inferiores a 35 KV
- Alta tensión: tensiones mayores de 35 KV

El método más típico de transporte de energía es por medio de cables desnudos aéreos soportados por estructuras o torres de suspensión y su diseño dependerá de los siguientes aspectos de acuerdo a la especificación CFE-J1000-50 (Líneas de transmisión y subtransmisión igual o mayores a 69 KV):

- Tipo de corrosión (marino, industrial y químico)
- Condiciones de carga de viento y hielo
- Temperaturas ambientales máximas y mínimas
- Altitud sobre el nivel del mar
- Distancias dieléctricas

1.9 Aisladores:

Los materiales más usualmente utilizados son la porcelana y el vidrio debido a su resistividad alta, estabilidad ante los diferentes cambios de temperatura, gran resistencia mecánica. No

obstante, también hay aisladores compuestos (vidrio y cerámica); el empleo de ellos se basará en el tipo de tensión. Se es indiferente si es un aislador de tipo campana (baja y media tensión) o de tipo barra (alta tensión) se pueden construir de vidrio, cerámica o compuestos.

En México en base a la norma CFE 52000-51-1991, los aisladores de cerámica o vidrio deberán ser diseñados, fabricados y probados conforme a los requerimientos establecidos en la última de edición de los siguientes documentos:

- IEC 61325: Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1000 V – Ceramic or glass insulator units for d.c. systems - Definitions, test methods and acceptance criteria.
- ANSI C29.1: Test methods for electrical power insulators.
- ANSI C29.2B: Wet process porcelain and toughened glass transmission suspension type
- IEC 60060-1: High voltage test techniques – part 1: general definitions and test requirements
- IEC 60060-2: High voltage test techniques – part 2: measuring systems.
- IEC 60120: Dimensions of ball and socket couplings of string insulator units
- IEC 60372: Locking devices for ball and socket couplings of string insulator units: dimensions and tests
- IEC 60383-1: Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1000 V – part 1: ceramic or glass insulator units for ac systems – definitions, test methods and acceptance criteria
- IEC 60437: Radio interference test on high-voltage insulators
- TR 60797: Residual strength of string insulator units of glass or ceramic material for overhead lines after mechanical damage of the dielectric

1.10 Elementos de control:

Los elementos de control son compuestos por generadores, interruptores y bancos de capacitores, su tarea dentro del SEP conectar y desconectar circuitos los diferentes circuitos eléctricos, garantizar la estabilidad del sistema y la continuidad del servicio.

1.11 Generadores:

Los generadores eléctricos convierten la energía mecánica en energía eléctrica. Su funcionamiento elemental se basa en tres puntos:

- Al circular una corriente eléctrica (I) por un conductor, se produce un campo magnético alrededor de este y viceversa, por lo tanto, y como se vio en el punto 1.2.1.1 sobre el transformador, al pasar un campo magnético por un conductor se produce una corriente eléctrica.
- Cuando un conductor se encuentra en movimiento dentro de un campo magnético, se induce un voltaje (V) o una FEM (Fuerza Electro Motriz).
- Si a través de una espira se pasa un campo magnético variable en el tiempo, se induce un voltaje o FEM en dicha espira.

Acto seguido, un generador elemental está constituido por armadura, anillos rozantes, escobillas e imanes permanentes. La armadura en cada uno de sus extremos se encuentra fija a una banda metálica conocida como anillos rozantes, que será donde estará el voltaje generado, que el cual son fijados por medio de resortes a las escobillas y cuando el conductor se encuentra en movimiento las líneas de fuerza producidas por el campo magnético generado por un imán permanente (que al tener una forma curvada produce un campo magnético más intenso) son cortadas y se produce un voltaje inducido en a bobina, como se observa en la Ilustración 6: Funcionamiento de un generador.

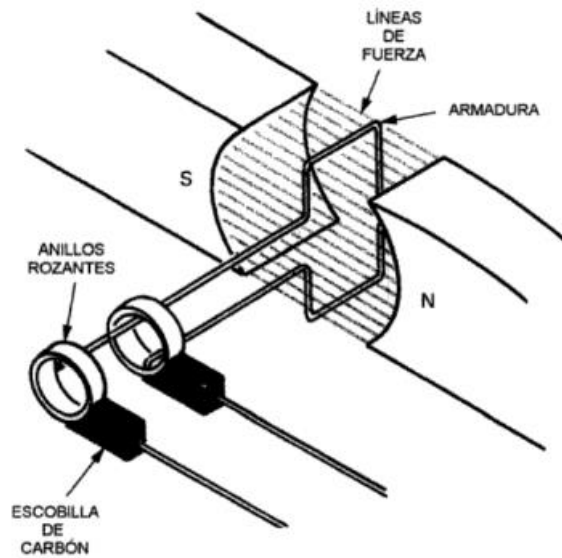


Ilustración 6: Funcionamiento de un generador

Es de suma importancia conocer la polaridad de un generador, para ello se emplea la regla de la mano derecha para generadores (Véase Ilustración 7: Regla de la mano derecha para generadores). El dedo pulgar, el dedo índice y el dedo medio representan la dirección de la fuerza, la dirección del campo magnético y la dirección del flujo de la corriente respectivamente.

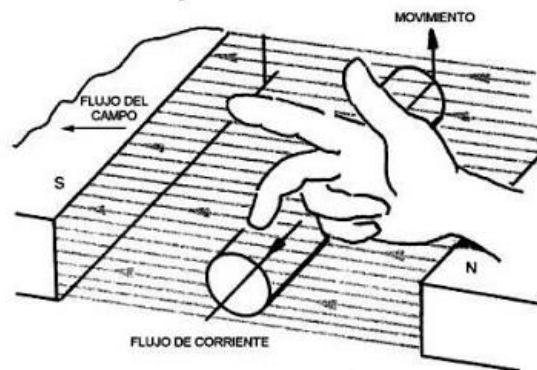


Ilustración 7: Regla de la mano derecha para generadores

1.12 Interruptores:

Un interruptor eléctrico es un dispositivo que sirve para interrumpir y restablecer el flujo de la corriente eléctrica.

Cuando se realiza la interrupción sin carga, el interruptor es denominado como desconectador o cuchilla, por el contrario, la interrupción es efectuada con carga el interruptor será nombrado interruptor de potencia o disyuntor. [6]

Los interruptores se construyen de los siguientes medios en los que se extingue el arco eléctrico:

- De aceite
- Neumáticos
- Hexafluoruro de azufre (SF₆)

Los interruptores de potencia deben de estar diseñados considerando que México es una zona altamente sísmica y evaluarse con la norma IEC 61166.

Procedente de la especificación CFE V5100-01, se elaboró un mapa de la República Mexicana donde se expresan los niveles de severidad sísmica: alto y moderado y el Espectro de Respuestas Requerido (RSS) (Véase Ilustración.8: Mapa de la República Mexicana con regiones sísmicas)

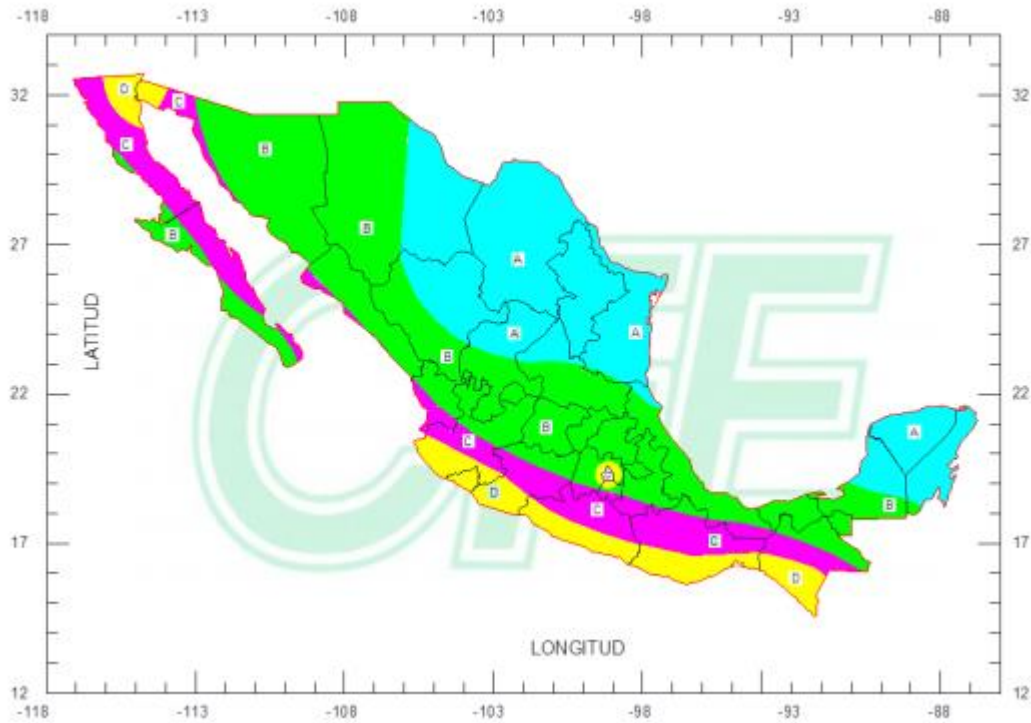


Ilustración 8: Mapa de la República Mexicana con regiones sísmicas

Donde A, B y C representa a un nivel sísmico moderado y D un nivel sísmico alto.

1.13 Bancos de capacitores:

Para definir a los bancos de capacitores es importante describir a un capacitor y al factor de potencia:

- Un capacitor es un dispositivo que almacena energía potencial y su construcción basta de dos conductores que están separados por un material aislante o dieléctrico. Para almacenar energía en este dispositivo, se transfiere carga de un conductor a otro de modo que uno tenga carga negativa y el otro positiva, se realiza un trabajo para trasladar las cargas a través de la diferencia de potencial resultante entre los conductores, este trabajo se almacena en forma de energía potencial eléctrica. [7]

- El factor de potencia es el ángulo (Θ) de fase entre el voltaje y la corriente. Se dice que se atrasa (-) si la corriente se retrasa respecto al voltaje, si se adelanta (+) la corriente se adelanta respecto al voltaje. Este se expresa en por ciento y nunca puede ser mayor a 1, ya que también es la relación entre la potencia real (P) y la potencia aparente (S):

$$\frac{P}{S} = \text{factor de potencia}$$

Ecuación 1: Factor de potencia

por lo tanto, la potencia real jamás será más grande que la potencia aparente. Esto se puede demostrar gráficamente por medio del triángulo de potencia:

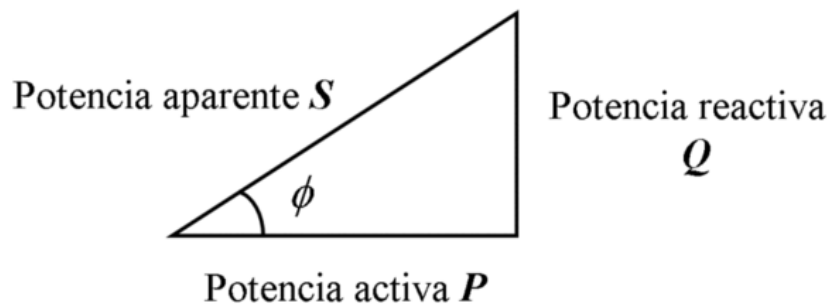


Ilustración 9: Triángulo de potencia

Donde:

P: potencia activa o real (W)

Q: potencia reactiva, solo está presente cuando hay bobinas o motores (VAR)

S: Potencia aparente, es la suma vectorial de las dos anteriores (VA)

Un banco de capacitores es la agrupación de varios capacitores conectados en serio o paralelo según se requiera. Debido que en el SEP están conectadas cargas inductivas como transformadores, motores, inductancia de las redes, etc. Esta potencia tiene que ser compensada ya que, si el factor de potencia no es 1, ósea que el voltaje y la corriente estén en fase, se suministrara más corriente y el usuario pagará mucho más de lo que se esté usando, además que influirán perdidas en la línea. Aquí radica la

importancia del de la corrección del factor de potencia mediante bancos de capacitores.

Como se vio, se debe de cobrar una multa si un factor de potencia es diferente de 1, esto dependerá de la legislación de cada país.

En la resolución Núm. RES/948/2015 de la Comisión Reguladora de Energía, se expiden las disposiciones administrativas y de carácter general de las redes de distribución de energía eléctrica del país.

En el Artículo 19: Evaluación de la Calidad y Continuidad de las Redes Generales de Distribución, en la sección 19.3.3. Compensación de Potencia Reactiva establece la legislación de México respecto al factor de potencia:

- “Se considera un circuito con cumplimiento mensual cuando el promedio de los registros obtenidos es mayores o iguales a un factor de potencia de 0.95 con un intervalo de medición de 10 minutos.”
- “El Distribuidor deberá cumplir, para cada una de sus Zonas de Distribución, con el criterio de compensación capacitiva en al menos el 80 % de los circuitos que dispongan de medidor digital.”
- “Para la medición del factor de potencia, el Distribuidor debe contar al menos el 75 % de infraestructura requerida para su medición en los interruptores de los circuitos de media tensión.”

1.14 Conformación del Sistema Eléctrico Nacional

El Sistema Eléctrico Nacional (SEN) es el conjunto de líneas transmisión y distribución, las cuales se conocen como Red Nacional de Transmisión (RNT) y Red General de Distribución (RGD), las cuales están interconectadas para suministrar energía al país. El SEN tiene por objetivo garantizar el suministro eléctrico continuo, incrementar la eficiencia, reducir costos y mejorar la calidad del servicio eléctrico. Según datos de la CFE de 2018, el SEN tiene 43.8 millones de usuarios.

De acuerdo al Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN 2019-2033), el SEN está conformado por diez regiones de control (Véase: Ilustración 10 Zonas de control del SEN):



Ilustración 10: Zonas de control del SEN

En donde siete de estas regiones de control (Central, Oriental, Occidental, Norte, Noroeste y Peninsular) están interconectadas y son parte del Sistema Interconectado Nacional (SIN), es evidente que representa a la mayor parte de la red eléctrica del país, puesto que en estas zonas es donde hay más consumo de energía eléctrica, esta sección comprende desde Puerto Peñasco hasta Cozumel.

Las zonas de Baja California Sur, Baja California y Sistema Mulegé, están eléctricamente aisladas entre sí y de la red del país, aunque en 2024 y 2023 se espera que forme parte del SIN. Juntas forman el SEN.

1.15 La frecuencia de sincronización

Un generador eléctrico necesita coincidir con la red en aspectos como secuencia de fase, voltaje y frecuencia. Se requiere llegar a una sincronización ya que las cargas eléctricas no son constantes, por lo tanto, varían con el tiempo.

A partir de 1960 se unificó en México la frecuencia de 60 Hz, este parámetro se tomó de la industria del cine, ya que 60 cuadros por segundo hacen que las imágenes proyectadas en pantalla tengan desplazamientos más nítidos.

1.16 Factores que afectan al SEN

Como se mencionó, no en todas las zonas de control del SEN se tiene el mismo consumo, la siguiente tabla elaborada con datos recuperados de los datos abiertos del CENACE lo muestra (Véase Ilustración 11: Consumo del SEN febrero 2018)

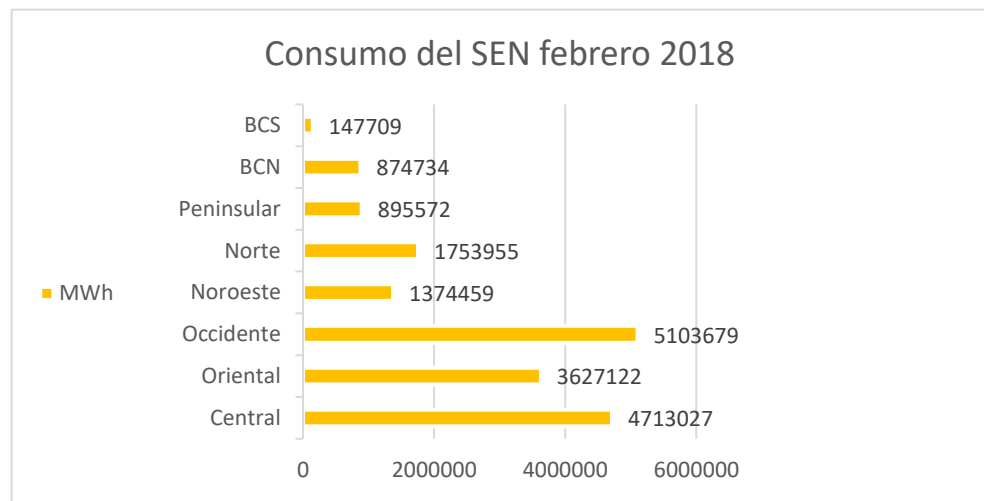


Ilustración 11: Consumo del SEN febrero 2018

Esta variación de consumo se debe principalmente a los siguientes factores:

- Crecimiento de la población:

Conforme a datos recopilados de la INEGI de 2015, la población en México ha crecido más de cuatro veces. En el año 2000 había 97.5 millones de personas, mientras que en 2015 había ya 119.5 millones de personas, esto representa un promedio anual de 1.4%. Esto deriva al crecimiento de la demanda y a la ampliación continua del SEN.

- Estaciones del año y clima:

Estadísticas registradas por CFE Transmisión de 2018, los meses con mayor demanda son mayo y septiembre. En verano se aumenta la demandada debido al uso continuo de ventiladores, aires acondicionados y refrigeración mayor a la común. En esta temporada la infraestructura del SEN debe estar en condiciones óptimas.

Durante el invierno sucede lo contrario, ya que se coincide con periodos vacacionales y por ende la demanda disminuye. En la Ciudad de México, que pertenece la zona Central donde hay más demanda, el mes con mayor demanda es de abril a junio y donde hay menor demanda es agosto (Véase Ilustración 12 Demanda 2018 en CDMX)

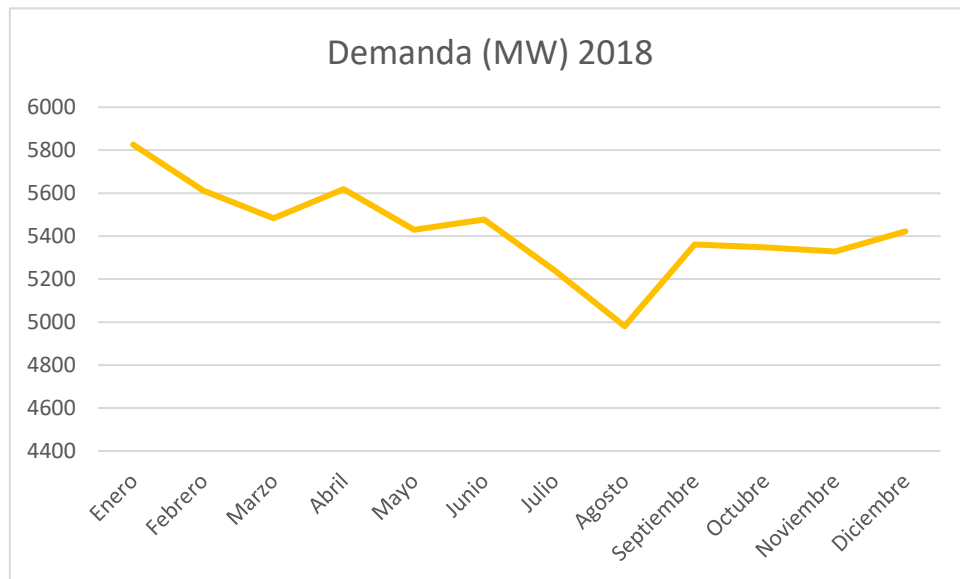


Ilustración 12: Demanda 2018 en CDMX

1.17 Producción de energía en el sistema nacional

Como anteriormente se mencionó, el SEN está constituido por la RNT y RGD, con datos recabados del PRODESEN 2019-2033:

- La Red Nacional de Transmisión (RNT): Se usan para transportar energía a las RGD, al público en general y a los sistemas eléctricos extranjeros a tensiones mayores o iguales a 69 KV.
- La Red General de Distribución (RGD): Se usan para transporte de energía al público en general a niveles menores o iguales a 35 KV.

Estas componen al siguiente mapa de red troncal de transmisión 2018:

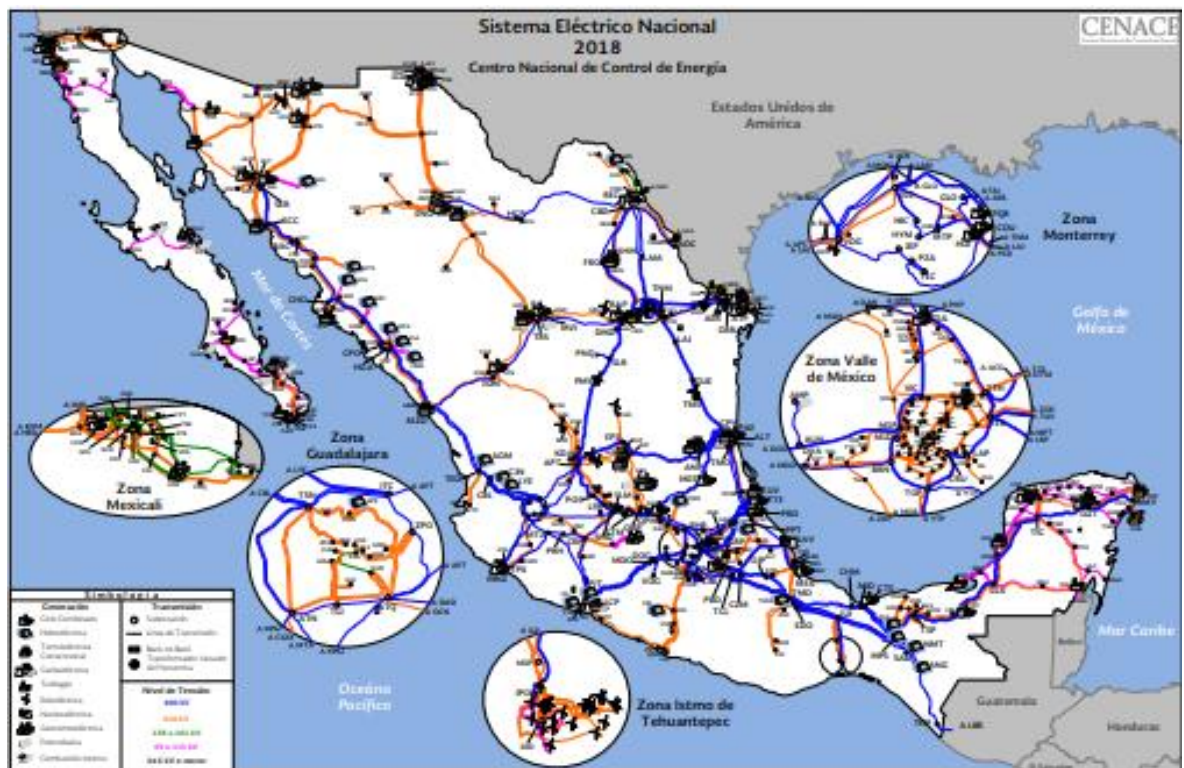


Ilustración 13: Mapa de red troncal de transmisión 2018

Donde el color verde representa a líneas de con una tensión de 138 a 161 kV, las azules 400 kV, las rosas 69 a 115 kV y las de color negro a 34.5 kV o menor.

En 2017 la capacidad del SEN fue de 75685 MW (Véase Ilustración 13 Capacidad Instalada por tipo de central.)

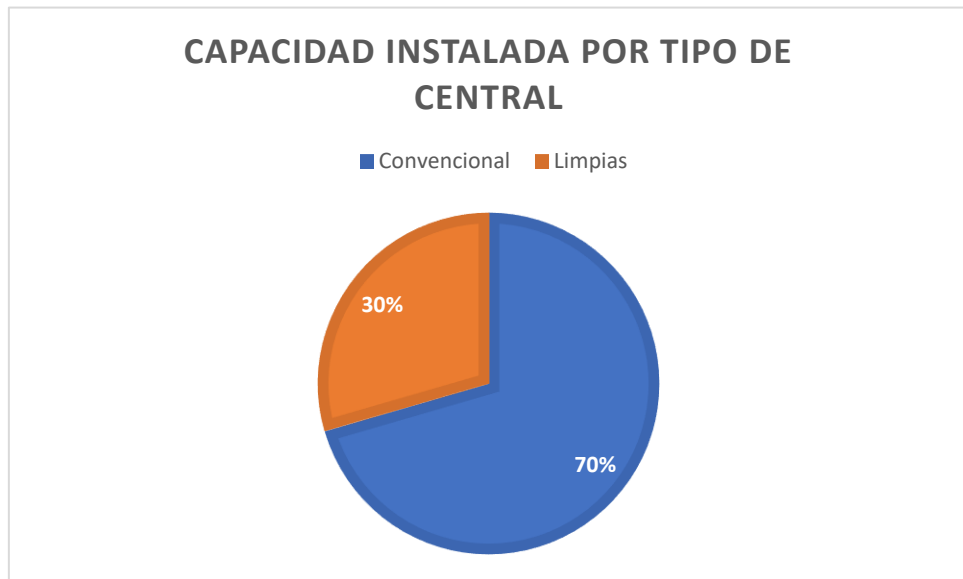


Ilustración 14: Capacidad Instalada por tipo de central

En donde el 30%, es decir 22,327.08 MW corresponde a energías limpias (energía que tiene el menor impacto ecológico: eólica, solar, hidroeléctrica, geotérmica, etc.) y el 70%, es decir 75,685.00 MW corresponde a centrales con energía convencionales (energía térmica convencional)

Existen actualmente 10 modalidades para generar electricidad definidos por la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE):

- I. Autoabastecimiento
- II. Cogeneración
- III. Exportación
- IV. Importación

- V. Productor Independiente
- VI. Pequeña Producción
- VII. Usos Propios Continuos
- VIII. Autorización de importación
- IX. Autorización de exportación
- X. Generación (LIE)

En el Capítulo II: De la Generación de Energía Eléctrica, art. 17 de la LIE faculta a la Comisión Reguladora de Energía para conceder permisos de generación eléctrica, con una capacidad mayor o igual a 0.5 MW. Hasta 2018 se tiene la siguiente capacidad autorizada por modalidad (Véase Tabla 2: Capacidad autorizada por modalidad):

Modalidad	Número de permisos	Capacidad autorizada (MW)
Autoabastecimiento	973	22394.6
Cogeneración	159	8008.5
Exportación	13	1688.7
Importación	66	321.2
Productor Independiente	34	18135.6
Pequeña Producción	288	7297.0
Usos Propios Continuos	47	597.4
Autorización de importación	2	1080.0
Autorización de exportación	1	337.1

Generación	635	95794.3
Total	2218	155654.3

Tabla 2: Capacidad autorizada por modalidad

1.18 Enlaces internacionales

Con datos recuperados del PROSEDEN 2019-2033 y PROSEDEN 2019-2032, los principales enlaces internacionales se resumen a los siguientes (Véase Ilustración 15: Enlaces internacionales del SEN):

Interconexiones con Norteamérica:

Interconexiones de emergencia:

- Riberaña-Ascárate
- ANAPRA-Diablo
- Ojinaga-Presidio
- Matamoros-Brownsville
- Matamoros-Military

Interconexiones para exportación e importación:

- Tijuana-Miguel
- La Rosita-Imperial Valley
- Piedras Negras-Eagle Pass
- Nuevo Laredo-Laredo
- Cumbres F. – Planta Frontera
- Cumbres F. – Railroad

Interconexiones con Centroamérica:

- Xul Ha – West
- Tapachula- Los Brillantes

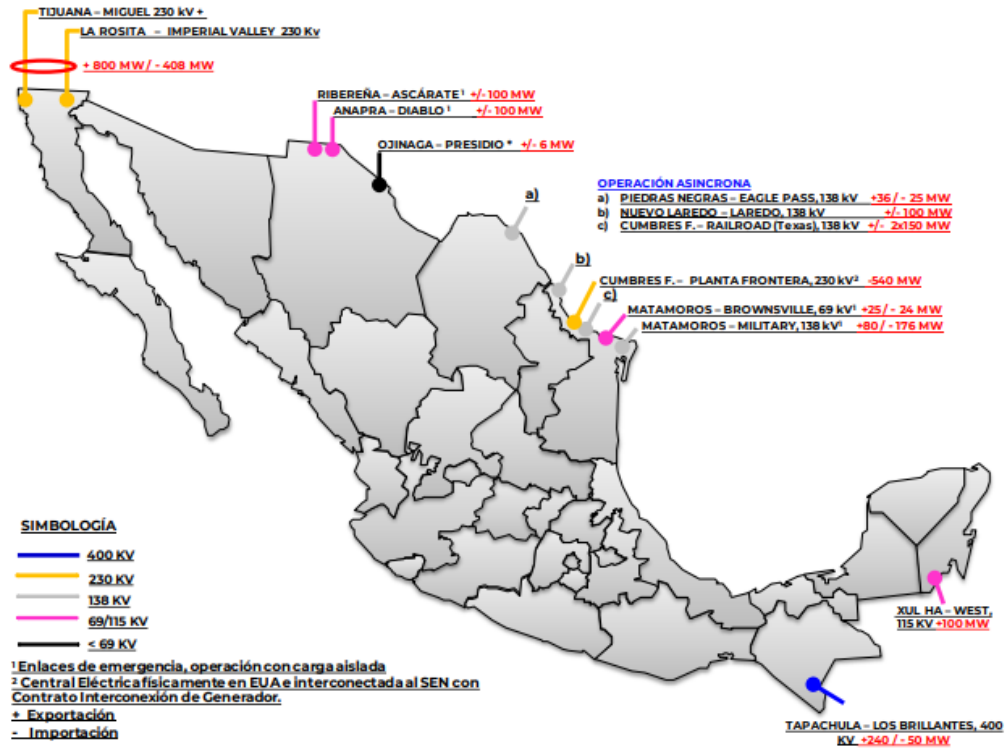


Ilustración 15: Enlaces internacionales del SEN

Capitulo II. La Reforma Energética

La Reforma energética fue presentada por el ex presidente, Enrique Peña Nieto el 12 de agosto de 2013 y aprobada el 11 de diciembre de 2013. Tiene como punto principal la modernización del sector energético, abrir a la participación privada para fomentar la competencia, combatir la corrupción en el sector, contar con un suministro energético más barato y de calidad.

Uno de los cambios más impactantes fue la descentralización de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), a un esquema más competitivo. Para poder entender este importante cambio se elaboró el siguiente cuadro con los estatutos marcados en el

Capítulo II: De las Autoridades de la Ley de Industria Eléctrica (LIE) (Después de la Reforma Energética) y de Capítulo II: Del organismo encargado de la prestación del servicio público de energía eléctrica de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) (Antes de la Reforma Energética):

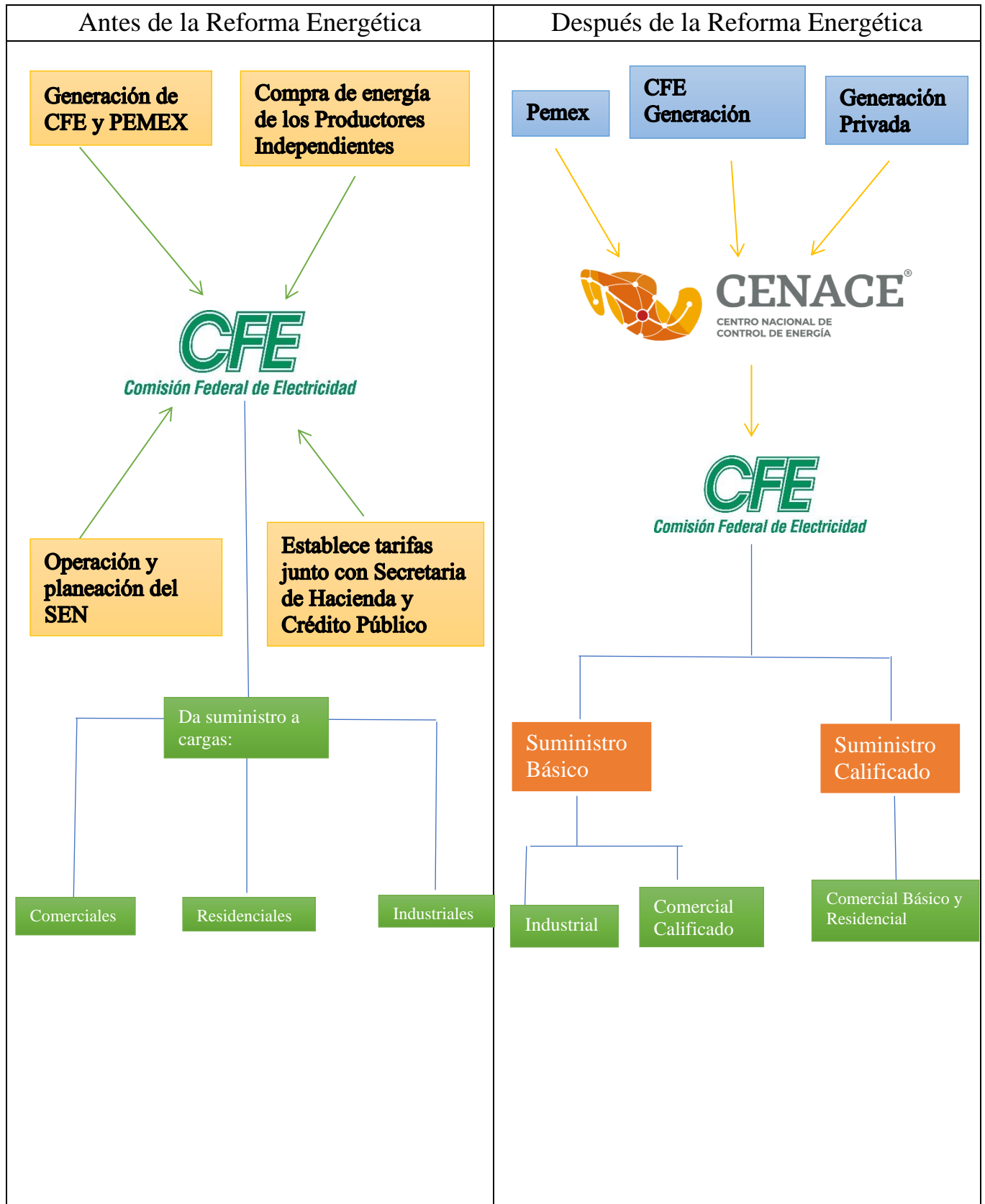


Tabla 3: Cambios de la Reforma Energética

Donde:

- **Suministro Calificado:** Es un proveedor de servicios de energía eléctrica, el cual representa sus propias cargas en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), deben tener un permiso otorgado por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y una demanda mayor o igual a 1 MW durante sus últimos 12 meses de operación, para adquirir dicho permiso.
- **Suministro Básico:** Se refiere a un prestador de servicio eléctrico para los usuarios finales (usuarios básicos) que no tienen un permiso ante la CRE y no pueden participar en el MEM. Actualmente el único suministrador básico es la CFE, sin embargo, cualquier interesado puede solicitar un permiso a la CRE para prestar este servicio. En general un usuario básico es aquellos que tienen recibo de luz de CFE. Para garantizar la cobertura de energía eléctrica se celebran subastas organizadas por el CENACE.

Antes de la Reforma Energética, se observa que las actividades de transmisión, distribución e inclusive la planeación del SEN, era parte de las tareas de CFE, a la entrada en vigor de la Reforma Energética, CFE fue dividida en pequeñas filiales de generación transmisión, distribución y suministro.

La CFE, sigue teniendo el control de la red eléctrica, pero ahora debe de competir con las generadoras y suministradoras de energía privadas. El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) es el organismo encargado de controlar, monitorear y operar el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), que como se ha mostrado comprende todas las actividades englobadas después de la Reforma Energética.

2.1 El Mercado Eléctrico Mayorista (MEM):

Es en donde los participantes además de poder adquirir y vender energía eléctrica, también lo será de los siguientes Productos Asociados:

- **Potencia:** Para hacer referencia a este Producto Asociado, es necesario que, para diferenciarlo del concepto físico se escriba con “P” mayúscula. La Potencia es lo que una empresa generadora puede vender.
- **Certificados de Energía Limpia (CELS):** De acuerdo a la LIE son títulos emitidos por la CRE, el cual acredita la producción de un monto determinado de energía eléctrica a partir de fuentes cuyas emisiones o residuos no contaminantes. En general, es un instrumento que acredita la cantidad de energía limpia.
- **Servicios Conexos:** Son aquellos servicios que garantizan la confiabilidad, continuidad y calidad del SEN, tales como reservas operativas, operación en isla, entre otras.
- **Demanda controlable:** Esta demanda controlable, es aquella que el CENACE pide a los centros de carga disminuir en un momento en particular, con el fin de garantizar la confiabilidad del SEN y es un requisito de Potencia.

Por consiguiente, estos Productos Asociados tienen en definitiva asegurar la confiabilidad y continuidad del SEN.

2.2 Participantes del sector eléctrico

La Reforma dictamina a cuatro actividades principales dentro del sector eléctrico:

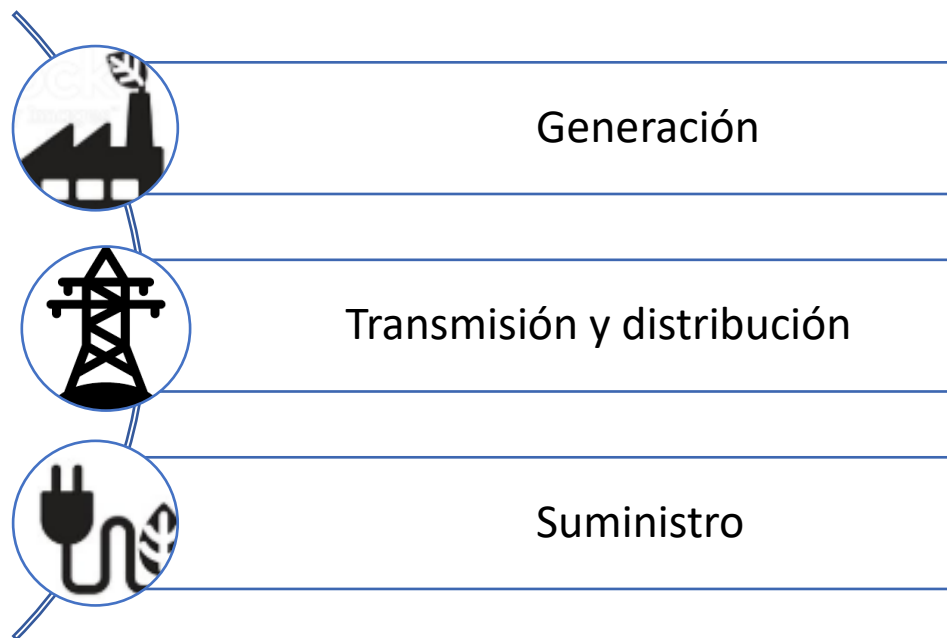


Ilustración 16: Actividades del sector eléctrico

- **Generación:** Dentro del MEM representan a las Centrales Eléctricas (CE), las cuales al tener una capacidad mayor o igual a 0.5 MW requieren un permiso otorgado por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) para generar energía eléctrica dentro del territorio nacional.
- **Transmisión y distribución:** Como se mencionó dentro del capítulo anterior, son aquellas actividades que facilitan la emisión de electricidad a todos los usuarios que la requieran.
- **Suministro:** Los hay de modalidad de suministrador de servicios básicos el cual corresponde a usuarios con un consumo eléctrico básico y una parte de su costo es subsidiada por el gobierno. Suministrador de Servicios Calificados mencionado anteriormente y suministrador de último recurso que se encarga de mantener la continuidad en caso de que se interrumpa el suministro de los usuarios calificados.

2.3 Cambios regulatorios

Otro los cambios más sustanciales de la Reforma Energética, fue la reorganización de las facultades conferidas principalmente a CFE, ahora a diferentes instituciones:



- Se encarga de la transmisión y la distribución pública
- Establece los requisitos para los CELS
- Genera, suministra y comercializa electricidad



- Dictamina los requisitos para ser usuario calificado
- el cumplimiento de los CELS

.10.1.1 Verifica Otorga permisos para generar electricidad y regula los modelos de interconexión



- Establece la política energética
- Establece políticas del SEN
- En coordinación con el CENACE, monitorean al MEM



- Control y monitoreo de MEM
- Control operativo del SEN

Como se dijo, estas facultades antes de la reforma energética eran llevadas a la aplicación por CFE, ahora con esta reorganización se buscó la implementación efectiva de la Reforma Energética y la puesta en marcha del MEM.

Cabe mencionar que estas actividades descritas por las instituciones anteriores, no son sus actividades completas, estas son las que se les fue conferidas a la implementación de la Reforma Energética.

2.4 Marco Constitucional

Como en todo Estado de derecho se requiere tener un marco constitucional que establezca los límites y fundamentos necesarios, que permitan tener mecanismos de control para el adecuado funcionamiento de las actividades del país.

En el ámbito energético, dentro del PRODESEN 2019-2033 establece estos fundamentos.

En los artículos 25, párrafo quinto 26, 27, párrafo sexto y 28, cuarto párrafo de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que establecen los principios de rectoría económica del Estado, los cuales se encuentran los estatutos de planeación del desarrollo nacional, actividades estratégicas y regulación de actividades económicas no reservadas al Estado.

En materia eléctrica, los artículos 25, párrafo quinto y 27 párrafo sexto de la Carta Magna establecen la planeación y control del Sistema Eléctrico Nacional, el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica de la Nación.

El artículo 26 constitucional en su apartado A, sienta las bases para ordenar un sistema de planeación del desarrollo nacional, determina la facultad en favor del Poder Ejecutivo para establecer los procedimientos de participación, consulta popular en el sistema nacional de planeación democrática y los criterios para la formulación,

instrumentación, control y evaluación del plan y programas de desarrollo, también dictamina a los órganos responsables del proceso que conlleva la planeación.

En artículo constitucional 28, párrafo cuarto, contiene el fundamento para la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, la generación de energía nuclear, el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica, cuyas funciones corresponden exclusivamente a la Nación.

La Ley Orgánica de la Administración Pública (LOAPF), establece en su artículo 9, cuales las dependencias y entidades de la Administración Pública Centralizada y Paraestatal deben conducir sus actividades en forma programada, con base en las políticas que establezca el Ejecutivo Federal para el logro de los objetivos y prioridades de la planeación nacional del desarrollo. Siguiendo lo que determina la ley en comento, corresponde a la Secretaría de Energía, atento al contenido del artículo 33 fracciones I y V de la LOAPFI el establecer, conducir y coordinar la política energética del país.

La Ley de Planeación (LP), en su artículo establece la responsabilidad del Ejecutivo Federal, para conducir la planeación nacional del desarrollo con la participación democrática de la sociedad.

La referida con antelación Ley de la Industria Eléctrica determina entre otras las siguientes facultades, en favor de diversos actores del sector:

En el artículo 33, fracciones I, y V, se faculta a la Secretaría de Energía para establecer, conducir y coordinar la política energética del país.

En el artículo 11, fracción III, se establece en favor de la Secretaría de Energía la facultad para dirigir el proceso de planeación y elaboración del PRODESEN; como un instrumento de planeación a largo plazo que contemple los requerimientos de

infraestructura necesaria para satisfacer el consumo y demanda de energía eléctrica del país.

Los artículos 14 y 68 determinan los elementos de la Red Eléctrica Inteligente, así como el incorporar mecanismos para conocer la opinión de los Participantes del Mercado y de los interesados en desarrollar proyectos de infraestructura eléctrica, y considerar la expansión y modernización de las Redes Generales de Distribución que se requieran para interconectar la Generación Distribuida.

El Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica (RLIE), establece en su artículo 5, que para la elaboración del PRODESEN deberán considerarse los pronósticos de la demanda eléctrica y los precios de los insumos primarios de la Industria Eléctrica; la coordinación de los programas para la instalación y retiro de Centrales Eléctricas con el desarrollo de los programas de ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución; la política de Confiabilidad; los programas para la instalación y retiro de Centrales Eléctricas que prevean la infraestructura necesaria para asegurar la Confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional; la coordinación con el programa de expansión de la red nacional de gasoductos y los mecanismos de promoción de las Energías Limpias, así como el análisis costo beneficio integral de las distintas alternativas de ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución.

La Ley de Transición Energética (LTE), en su artículo 14, fracción XVI faculta a la Secretaría de Energía para promover la construcción de las obras de infraestructura eléctrica que faciliten la interconexión de Energías Limpias al Sistema Eléctrico Nacional y así también, en su artículo 29, fracciones II y V, señala la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios.

Dentro del mismo contexto, la Ley General de Cambio Climático (LGCC) en su artículo 7, fracción XXIII, faculta a la Federación para desarrollar programas y

proyectos integrales de mitigación y adaptación al cambio climático en materia de energía eléctrica, para lograr el uso eficiente y sustentable de los recursos energéticos fósiles y renovables del país. Asimismo, en su artículo 45 dispone que la Secretaría de Energía establecerá políticas e incentivos para promover la utilización de tecnologías de bajas emisiones de carbono, con el objetivo de impulsar la transición a modelos de generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles a tecnologías que generen menores emisiones.

2.5 Políticas de transición energética

El 24 de diciembre de 2015 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley de Transición Energética, cuyo objetivo es regular el aprovechamiento sustentable de la energía, definir las obligaciones en materia de energía limpia, con el fin de disminuir las emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica.

Sus puntos principales son los siguientes:

- Inducir y prever el cumplimiento de las metas de Energías Limpias y de Eficiencia Eléctrica
- Tener en cuenta todos los factores que conlleven a la evaluación de costos de operación y expansión de la Industria Eléctrica, tales como ambientales y de salud.
- Esclarecer las obligaciones dentro del aprovechamiento sustentable de la energía y Eficiencia Energética
- Reducir de una manera viablemente económica las emisiones contaminantes

- Apoyar el objetivo de la Ley General de Cambio Climático, relacionado con las metas de reducción de emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero y de generación de electricidad provenientes de fuentes de energía limpia
- Promover la generación limpia de energía

Para cumplir con lo anterior, la Ley de mérito establece marca lo siguiente:

- El artículo 7, fracción I-, determina: para este caso, que se otorgará un Certificado de Energía Limpia (CELS); de igual manera se recibirá un CEL por cada megawatt-hora de energía limpia generado para vender en el mercado.
- El artículo 7, fracción. III, determina que la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) establecerá umbrales de que tanto está contaminado una planta. Las plantas generadoras de electricidad que utilicen combustibles fósiles están obligadas a sustituir gradualmente y programadamente sus instalaciones por unas que cumplan la normatividad de emisiones contaminantes, con el propósito de que no exceden los límites impuestos por la SEMARNAT.
- En el artículo 9, Se determina que el Estado tiene a su cargo hacer que existan las condiciones legales, regulatorias y fiscales para facilitar estos acometidos.
- En el artículo 10, fracción. IV, se establece que debe: expedir el proceso para la instalación de medidores bidireccionales, consumo de personas físicas y morales que requieran conectar su sistema de generación limpia a la Red de Distribución.
- En el artículo 14 fracciones VII y VIII, se determina que se va a incorporar la instalación de Centrales Eléctricas con Energías Limpias y se elaborará anualmente un reporte sobre el avance del cumplimiento de las metas de generación de electricidad por medio de Energías Limpias.

- Los artículos 28 y 29, establecen la elaboración de una estrategia a largo y a mediano plazo, con estudios científicos, técnicos, financieros, fiscales, ambientales y sociales.
- El artículo 31, menciona que el Servicio Meteorológico Nacional aportará predicciones sobre variables climatológicas que influyan en el aprovechamiento de las Energías Limpias.
- El artículo 37 refiere que : al Programa de Redes Eléctricas Inteligentes, que tiene como objetivo apoyar la modernización de la Red Nacional de Transmisión y de las Redes Generales de Distribución, para mantener una infraestructura confiable y segura que satisfaga la demanda eléctrica de manera económicamente eficiente y sustentable, y que facilite la incorporación de nuevas tecnologías que promuevan la reducción de costos del sector eléctrico, la provisión de servicios adicionales a través de sus redes, de la Energía Limpia y la Generación Limpia Distribuida, permitiendo una mayor interacción entre los dispositivos de los usuarios finales y el sistema eléctrico
- El artículo 43, determina que, para lograr los puntos referidos con antelación, el financiamiento será solventado por parte el Presupuesto de Egresos de la Federación.
- El artículo 55, fracción I, prevé que las disposiciones anteriores permitan sustituir equipos y aparatos energéticamente ineficientes.
- El artículo 98 fija las bases para la creación del Sistema Nacional de Información Energética en el marco del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica, el cual tiene por objeto registrar, organizar, actualizar y difundir la información en materia de aprovechamiento sustentable de la energía.
- Los artículos 120 y 121, establecen las sanciones a quien incurra en la comercialización de equipos o aparatos que no incluyan las especificaciones de consumo energético, que contengan información falsa o incompleta que provoque engaños a los consumidores y

operadores. Las sanciones económicas van desde cien a veinte mil veces el salario mínimo.

Finalmente, el artículo Transitorio Tercero dice determina que la SENER fijará como meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del 25 por ciento para el año 2018, del 30 por ciento para 2021 y del 35 por ciento para 2024.

Con datos recopilados de la CRE de la entrada en operación de capacidad limpia y convencional de centrales eléctricas, en 2012 había 45% de capacidad limpia y el 54% se tiene previsto para 2019-2026, es decir el 9% en 6 años (Ver Ilustración 17: Crecimiento de la capacidad limpia y convencional 2012-2018).

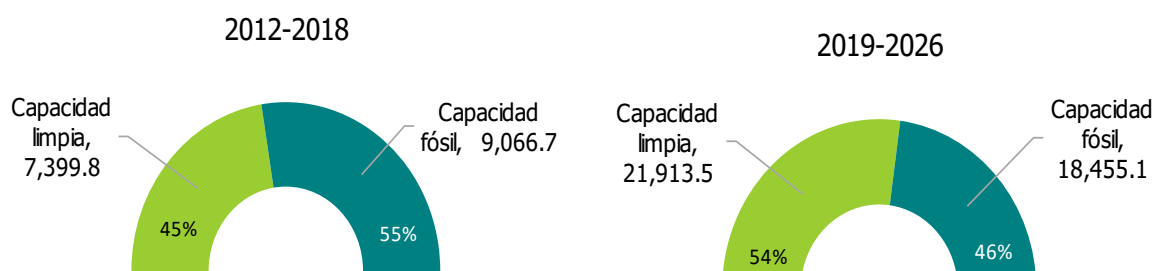


Ilustración 17: Crecimiento de la capacidad limpia y convencional 2012-2018

2.6 Relación con la Cogeneración de energía

Como se ha mencionado anteriormente, la implementación del MEM cambió radicalmente el sector eléctrico en el país. Con ello, se dictaminan las bases del mercado junto con las disposiciones operativas, que son un conjunto de documentos que definen la operación del MEM.

Para garantizar la competencia y precios fijos, se hacen subastas de energía, estableciendo dentro de las Bases del Mercado los siguientes componentes:

- Mercado de Energía de Corto Plazo

- Subastas de Mediano y Largo Plazo
- Mercado para el Balance de Potencia
- Subastas de Derechos Financieros de Transmisión (DFT)
- Mercado de Certificados de Energía Limpia (CEL)

Dentro del Mercado de Energía a Corto Plazo, se está compuesto por Mercados de Día en Adelanto (MDA) y Tiempo Real (MTR). Las ofertas del MDA se hacen para cada hora y son pagadas por un sistema de doble liquidación, lo que significa que primero se liquida las ventas del MDA para consecutivamente, pagar la diferencia de las ventas del MTR.

Con respecto a la cogeneración de energía, estipulado en la sección 2.5.3 de las Bases del Mercado: considerando que se está conectada al SEN, toda la carga y generación debe de ofrecerse al MEM y estar sujeto a instrucciones del CENACE, por lo tanto, están relacionados con el MDA y el MTR.

2.7 Las Subastas de energía

Anteriormente ya se había mencionado que el CENACE es el organismo encargado de organizar estas subastas y de acuerdo al Sistema de Información del Mercado: Área Pública, del mismo organismo, hay dos tipos de subastas:

- **Mediano Plazo (MP):** Su finalidad es adquirir con anticipación Potencia y energía eléctrica para ser aprovechada por Usuarios de Suministro Básico, para asegurar los precios. Estas subastas pueden ser para cualquier tipo de generación y su duración es de tres años.
- **Largo Plazo (LP):** Su propósito es permitir a los Suministradores de Servicios Básicos celebrar Contratos en forma competitiva para satisfacer las necesidades de Potencia, CELS que deban cubrir a través de contratos de largo plazo de acuerdo con los requisitos que para ello establezca la CRE. También tienen por objetivo permitir a

quienes celebren estos contratos, en calidad de Vendedores, contar con una fuente estable de pagos que contribuya a apoyar el financiamiento de las inversiones eficientes requeridas para desarrollar nuevas Centrales Eléctricas o para repotenciar las existentes. Su duración es de 15 años para Potencia y 20 años para los CELS. Estas subastas son exclusivamente para energía limpias (incluyendo a la cogeneración de energía).



Ilustración 18: Subastas de energía eléctrica

En las centrales de cogeneración se pueden participar en ambas subastas.

A la redacción del Plan Nacional de Desarrollo, el Programa Sectorial de Energía, el Programa Nacional de Infraestructura, el Plan Especial de Cambio Climático, la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía y el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables tienen en conjunto el objetivo de fomentar la participación del sector privado y social en materia de energía renovables, invertir en estas energías e impulsar al país a la aplicación de más proyectos de cogeneración. Por ello a la cogeneración se le otorga un certificado conocido como Cogeneración Eficiente.

2.8 Cogeneración Eficiente

En relación a la Guía Práctica de Trámites y Permisos para Proyectos de Cogeneración de Energía Eléctrica en México; convencionalmente la eficiencia de un

sistema de cogeneración se podría calcular con la suma de la energía de energía generada (eléctrica y térmica) y la energía primaria contenida en el combustible usado. Sin embargo, la CRE decidió para esta metodología usar criterios que incluyen medir la eficiencia de un sistema de cogeneración contra la eficiencia de un sistema convencional de generación operando en condiciones eficientes y la energía adicional generada en un sistema de cogeneración a partir de la misma cantidad de combustible que usa un sistema convencional eficiente.

De acuerdo a lo establecido en la Ley de la Industria Eléctrica considera a la cogeneración en términos del artículo 3, fracción XXII, inciso k:

“La energía generada por centrales de cogeneración eficiente en términos de criterios de eficiencia emitidos por la CRE y de emisiones establecidos por la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales”

La LIE, dentro de este artículo considera a la Cogeneración Eficiente, mencionado en el capítulo anterior, como un tipo de Energía Limpia.

En la RES/291/2012 publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 26 de septiembre de 2012, por la que la Comisión Reguladora de Energía expide las disposiciones generales para acreditar sistemas de cogeneración como cogeneración eficiente, describe a el proceso para obtener este certificado que es el de a continuación:

- I. Tener un permiso generación de electricidad vigente en la CRE, en modalidad de cogeneración.
- II. Instrumento jurídico que acredite la personalidad y facultades jurídicas del representante legal del permisionario.
- III. Escrito libre donde se informe sobre las condiciones técnicas del sistema de cogeneración, indicando su han existido modificaciones que no hayan sido informadas a la Comisión.

- IV. Reporte técnico a través del formato para levantamiento de parámetros-insumo en el cálculo de la eficiencia de sistemas de cogeneración, requisitado por la persona autorizada por la Comisión para realizar la medición de variables en los sistemas de cogeneración.
- V. Diagrama de todo el proceso de cogeneración donde se expongan los puntos de medición para las variables energéticas, así como el balance térmico.
- VI. Dentro de 20 días hábiles se analizará y resolverá la solicitud, contados a partir del día siguiente de la integración del expediente.

La acreditación como cogeneración eficiente tiene una vigencia y esta será proporcional a la capacidad de generación de energía eléctrica conforme lo siguiente:

Tabla 4: Vigencia de acreditación como cogeneración eficiente

Capacidad del sistema de cogeneración (MW)	Vigencia
De 0.03 hasta menos de 0.5	5 años
De 0.5 hasta menos de 30	3 años
De 30 hasta menos de 100	2 años
Igual o más de 100	1 año

El 22 de febrero de 2011 se publicó dentro del DOF la entrada de la Resolución Núm. RES/003/2011 expedida por la CRE, donde se establece la metodología para el cálculo de la eficiencia de los sistemas de cogeneración de energía eléctrica y los criterios para determinar la cogeneración eficiente, se compone de lo siguiente:

- a) Los Sistemas con capacidad total instalada menor o igual a 30 kW
- b) Los Sistemas que utilicen para la generación de electricidad la energía térmica no aprovechada en el proceso o los combustibles generados en el proceso y no requieran para ello del uso adicional de combustible fósil. Esta exención no aplica a los procesos de la industria petrolera

Se toma en consideración los siguientes factores:

- c) La energía eléctrica neta generada en un sistema durante un año (E)
- d) La energía térmica neta o calor útil generado en un sistema y empleado en el proceso durante un año (H)
- e) El combustible fósil empleado en un sistema durante un año (F)

Nota: por sistema se refiere a la planta de cogeneración.

Se requiere precisión a la hora de la determinación de los valores de las variables del sistema correspondiente, para conocer mejor su grado de desempeño energético y eficiencia con respecto a los criterios impuestos.

La metodología se compone de los siguientes cálculos:

Para el Rendimiento eléctrico de un Sistema (Re):

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

Donde:

E: La energía eléctrica neta, medida en el punto de conexión de los generadores principales, generada en un Sistema durante un año.

F: El combustible fósil empleado en un Sistema a lo largo de un año, medido sobre poder calorífico.

Para el Rendimiento térmico medio de un Sistema (Rh):

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

Donde:

H: La energía térmica neta o el calor útil generado en un Sistema y empleado en un proceso productivo durante un año.

Para el factor de pérdidas de energía eléctrica debidas a la transmisión desde el nivel de alta tensión al que se conecta el Sistema (fp):

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

Para el rendimiento de referencia para la generación eléctrica:

$$\text{RefE}' = \text{RefE} * F_p$$

Para el combustible utilizado atribuible a la producción de calor útil (Fh):

$$F_h = \frac{H}{\text{RefH}}$$

Donde:

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.

Para el combustible Sistema atribuible a la generación (Fe):

$$F_e = F - F_h$$

Para la energía primaria del proceso de generación de energía eléctrica y del proceso térmico Sistema (EP):

$$EP = \frac{E}{RefE'} + \frac{H}{RefH}$$

Para el ahorro de energía primaria obtenido del anterior análisis y que representa el proceso térmico del sistema:

$$AEP = EP - F$$

Para la 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 (Econv):

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

Donde:

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.

Para obtener la 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:

$$Elc = AEP * Ref E$$

Por último, para la eficiencia:

$$\eta = \frac{Elc}{Econv} = \frac{AEP}{Fe}$$

Por lo tanto, si el resultado es: $\eta \geq \min$, se obtendrá la certificación.

Donde los valores están determinados por la siguiente tabla:

Capacidad del Sistema	η min %
0.03 < Capacidad MW < 0.5	5
0.5 ≤ Capacidad MW < 30	10
30 ≤ Capacidad MW < 100	15
Capacidad MW ≥ 100	20

Tabla 5: Criterios de eficiencia mínima establecidos por la CRE para determinar a la cogeneración eficiente

Para los Sistemas con capacidad igual o menor a 30 MW instalados a una altura superior a 1500 metros sobre el nivel del mar, generando con motores de combustión interna o con turbinas de gas, el requerimiento de eficiencia mínima será el siguiente:

Capacidad del Sistema	η min %
0.03 < Capacidad MW < 0.5	2
0.5 ≤ Capacidad MW < 30	5

Tabla 6: Criterios de eficiencia mínima establecidos por la CRE para determinar a la cogeneración eficiente con una capacidad menor o igual a 30 MW

Estos valores de referencia son revisados por la CRE y en su caso modificados cada cinco años.

Ejemplificando lo anterior con valores ficticios:

Se tiene una industria petrolera que desea acreditarse como Cogenerador Eficiente, tiene la siguiente ficha técnica:

Tabla 7: Ficha técnica

Capacidad Instalada (MW)	432
Tensión de interconexión (KV)	115
Tecnología para la generación	Turbina de gas y de vapor
Factor de planta (%)	69
Factor de perdidas (%)	98
Combustible (GJ/año)	28661945
Energía térmica (GJ/año)	13326584
Energía eléctrica (GJ/año)	9460800

Recordemos que:

- La energía eléctrica neta generada en un sistema durante un año (E)
- La energía térmica neta o calor útil generado en un sistema y empleado en el proceso durante un año (H)
- El combustible fósil empleado en un sistema durante un año (F)

Por lo tanto, estas variables serán:

$$E = 9460800 \text{ (GJ/año)}$$

$$H = 13326584 \text{ (GJ/año)}$$

$$F = 28661954 \text{ (GJ/año)}$$

Para el Rendimiento eléctrico de un Sistema (Re):

$$Re = \frac{E}{F}; \quad Re = \frac{9460800}{28661954} = 0.330082171$$

Para el Rendimiento térmico medio de un Sistema (Rh):

$$Rh = \frac{H}{F}; \quad Rh = \frac{13326584}{28661954} = 0.46495727$$

Para el factor de pérdidas de energía eléctrica debidas a la transmisión desde el nivel de alta tensión al que se conecta el Sistema (Fp):

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

$$Fp = 1 - 0.98 = 0.020$$

Para el rendimiento de referencia para la generación eléctrica:

$$RefE' = RefE * Fp; \quad RefE' = 0.44 * 0.020 = 0.009$$

Recordemos que para el cálculo de la eficiencia de un Sistema se deberán considerar los siguientes valores de referencia:

Tabla 8: Valores a considerar

RefE	44%
RefH (con vapor o agua caliente como medio de calentamiento)	90%
RefH (Con uso directo de los gases de combustión)	82%

← Para este caso se tomará en cuenta estos valores

Para el combustible utilizado atribuible a la producción de calor útil (Fh):

$$F_h = \frac{H}{RefH} ; \quad F_h = \frac{13326584}{0.90} = 14807315.56$$

Para el combustible Sistema atribuible a la generación (Fe):

$$F_e = F - F_h ; \quad F_e = 28661954 - 14807315.56 = 13854638.44$$

Para la energía primaria del proceso de generación de energía eléctrica y del proceso térmico Sistema (EP):

$$EP = \frac{E}{RefE} + \frac{H}{RefH} ; \quad EP = \frac{9460800}{0.009} + \frac{13326584}{0.90} = 1089898225$$

Para el ahorro de energía primaria obtenido del anterior análisis y que representa el proceso térmico del sistema:

$$AEP = EP - F ; \quad AEP = 1089898225 - 28661954 = 1061236271$$

Para la 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 (Econv):

$$E_{conv} = F_e * RefE ; \quad E_{conv} = 13854638.44 * 0.44 = 6096040.916$$

Para obtener la energía eléctrica libre de combustible:

$$E_{lc} = AEP * RefE ; \quad E_{lc} = 1061236271 * 0.44 = 466943959.1$$

Por último, para la eficiencia:

$$\eta = \frac{Elc}{Econv} = \frac{AEP}{Fe}; \quad \eta = \frac{466943959.1}{6096040.916} = 76.59790437\%$$

Si recordamos la Tabla 5: Criterios de eficiencia mínima establecidos por la CRE para determinar a la cogeneración eficiente. Para una capacidad mayor o igual a 100 MW, se requiere que el resultado de la eficiencia sea mínimamente del 20%, por lo tanto, esta industria se puede acreditar como cogenerador eficiente.

Los valores impuestos por la CRE (Tabla 5 y 6) son tomados como referencia los valores de eficiencia de centrales de cogeneración usados en otros países. En los países tomados como comparación se toma en cuenta el tipo de combustible, mientras que en México es indiferente este punto.

Las personas autorizadas para la medición de las variables de los sistemas de cogeneración requeridos de energía eléctrica neta generada en un sistema durante un año (E), la energía térmica neta o calor útil generado en un sistema y empleado en el proceso durante un año (H) y el combustible fósil empleado en un sistema durante un año (F), son las siguientes:

- a) Instituto de Investigaciones Eléctricas
- b) Consultoría y Gestoría Energética, S. A. de C. V.

De acuerdo a la Guía Práctica de Trámites y Permisos para Proyectos de Cogeneración de Energía Eléctrica en México, aquellos sistemas de cogeneración que acrediten correctamente gozarán de los siguientes beneficios:

- Metodología para la determinación de los cargos correspondientes a los servicios de transmisión que preste el suministrador. Dichos cargos son actualizados mensualmente por la CRE.
- Contratos de interconexión al SEN a centrales con más de 500 kW.

- Establecimiento de condiciones jurídicas que se celebren con CFE, relacionado con generación y transmisión a puntos de carga.
- Ser un “Banco de Energía”, el cual es un mecanismo que busca reducir el problema de intermitencia de generación de energía eléctrica. Se busca intercambiar energía en periodos de tiempos de alta demanda, esta energía generada en cualquier horario y no consumida por los usuarios puede ser “acumulada en forma virtual” por CFE y “entregada” en distintos periodos.

Con datos recopilados del Reporte de supervisión de permisos de generación e importación de energía eléctrica 2018 de la CRE, de enero a junio de 2018 se evaluaron tan solo 9 solicitudes de acreditación de Cogeneración Eficiente, de las cuales solo se autorizaron 5.

Hasta 2018 había 119 permisos de cogeneración y tan solo 37 de ellos están acreditados como Cogeneración Eficiente.

Con base a datos publicados de COGEN Europe, COGEN España y WADE, se tiene que para 2025 en Estados Unidos en las plantas de cogeneración supere el 17% de producción, el Inglaterra actualmente es el 7.5%, pero se tiene previsto que sea del 17%, en Japón se tiene previsto que se aumente el 10% para el 2030.

Lo que significa que en México aún no está muy maduro la implementación de cogeneración de energía.

Capítulo III. Cogeneración de Energía

3.1 Conceptos termodinámicos:

Para comprender a la cogeneración es importante conocer algunos aspectos termodinámicos.

Un Sistema Termodinámico es una parte del Universo que está separado del medio.

$$\text{Sistema} + \text{Medio (entorno)} = \text{Universo}$$

El medio está constituido por materia, por lo tanto, la suma del sistema y del medio será igual al Universo.

Hay diferentes tipos de sistemas, dependerán de cuál es la parte del Universo que se está relacionado y como va a intercambiar materia con el medio.

3.2 Sistema Aislado:

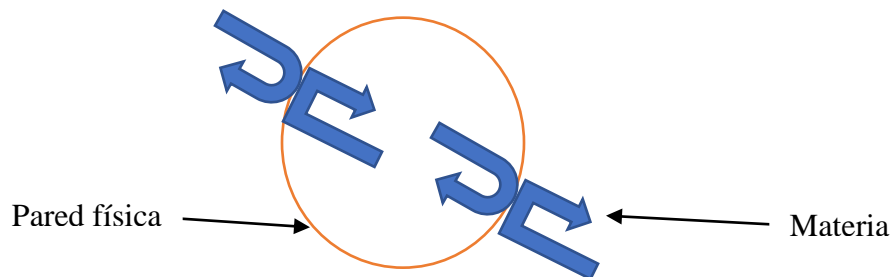


Ilustración 19: Sistema Aislado

La circunferencia representa una pared física y se observa que lo que hay dentro no puede salir y lo que está afuera no puede entrar a ella. Las dos flechas representan el intercambio de materia. Por lo tanto, este sistema no puede intercambiar materia con el medio.

Este sistema no puede intercambiar energía o materia, por ello se conoce como un sistema aislado.

Por ejemplo, un termo que guarda café, su principal motivo es guardar la temperatura del café, sin que la temperatura externa no afecte.

3.3 Sistema Cerrado

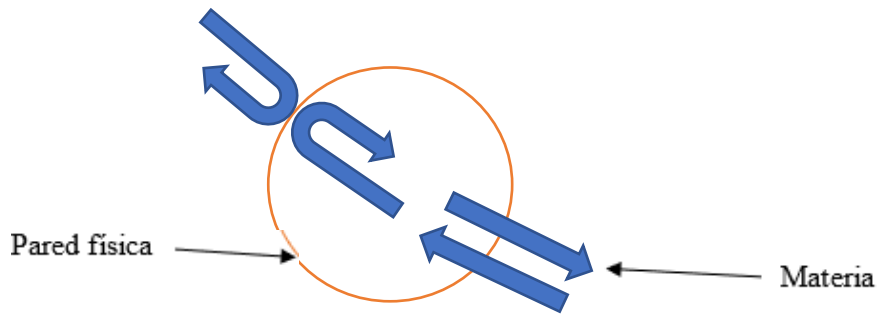


Ilustración 20: Sistema Cerrado

En este sistema se tiene al igual una pared física, en este sistema lo que está adentro no puede salir y lo que está afuera no puede entrar, sin embargo, puede intercambiar energía. Por ello se llama sistema cerrado, ya que no puede intercambiar materia, pero sí energía.

Continuando con el ejemplo anterior, si ponemos café en una botella de vidrio, no se derramará el café, pero con el paso del tiempo el café se enfriará ya que habrá intercambio de temperatura con el medio.

3.4 Sistema Abierto

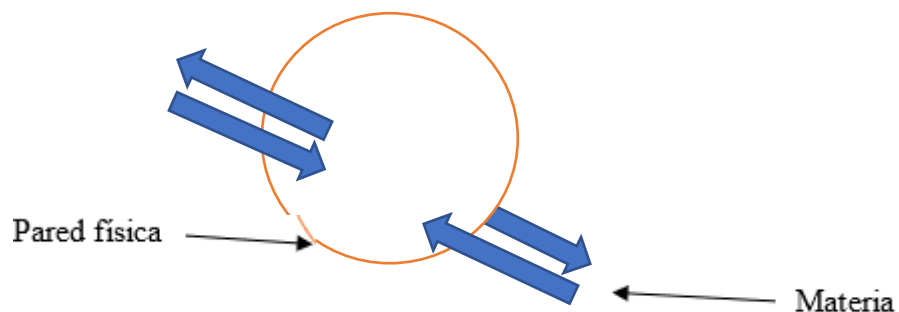


Ilustración 21: Sistema Abierto

En este sistema se puede intercambiar materia y energía, ambas pueden entrar y salir, por ello su nombre de sistema abierto.

Por ejemplo, un vaso de precipitados, ya que sus paredes son de vidrio y pueden intercambiar calor con el medio y al no estar cerrado puede salir oxígeno.

3.5 Entropía (S)

Hay muchas definiciones y en su mayoría muy confusas que albergan a darle una definición concreta a la entalpia.

En general es una magnitud termodinámica que permite calcular la energía contenida en un sistema que no se utiliza, con ella se mide el grado de desorden para poder distinguir la energía útil de la que se pierde. [8]

3.6 Entalpia (H)

Magnitud termodinámica que mide la cantidad de energía que se puede intercambiar con el entorno, es decir, la cantidad de energía que se absorbe o libera.

La diferencia que existe entre la entropía y entalpia es que la primera describe el grado de desorden del sistema y la segunda se refiere a la cantidad de energía que contiene dicho sistema.

3.7 Procesos termodinámicos

Son aquellos cambios de un estado de equilibrio a otro que experimenta un sistema, Estos involucran calor y/o trabajo entre el entorno y el sistema.

La serie de cambios que se llevan a cabo dentro del proceso se les denomina como trayectoria.

Los procesos termodinámicos se llevan a cabo de acuerdo al siguiente esquema:

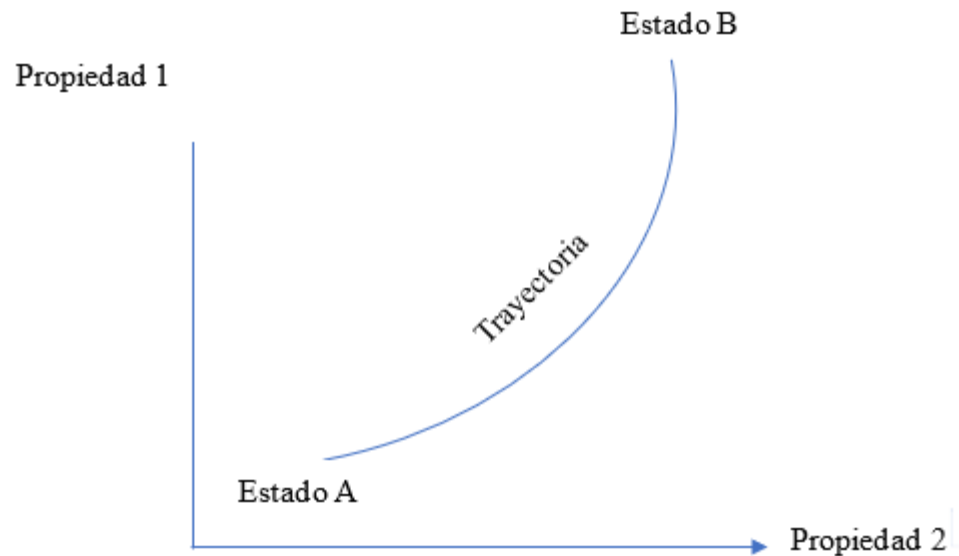


Ilustración 22: Proceso termodinámico

3.8 Tipos de procesos

Adiabático: Se manifiesta en un sistema cerrado, sin transferencia de calor en el entorno.

Isotérmico: En este proceso la temperatura es constante, es decir pueden variar otras constantes termodinámicas, excepto la temperatura. A diferencia del proceso adiabático puede existir la transferencia de calor con el entorno para asegurar la temperatura constante.

Isobárico: Tiene la característica de mantener a la presión constante. Por ejemplo, el cambio de fase del agua, ya que esta se da en condiciones de presión atmosférica constantes.

Isométrico: Mantiene el volumen constante. Por ejemplo, cocinar algo dentro de una olla exprés, aumenta de temperatura, pero el volumen de los alimentos sigue constante.

Isoentrópico: Es aquel donde la entropía del sistema permanece constante. Por ejemplo, si soplamos, este se dispersa buscando un estado de entropía máximo, pero nunca va a regresar al sitio del que salió.

3.9 Termodinámica para la cogeneración

Una vez conocidos los conceptos del punto 3.1, podremos partir a los ciclos termodinámicos que están incluidos en la cogeneración de energía.

3.10 Ciclo Rankine

Este ciclo se usa generalmente en las plantas termoeléctricas y es el más básico que usan las turbinas de vapor.

El proceso ideal este compuesto por (Ver Ilustración 23: Ciclo Rankine)

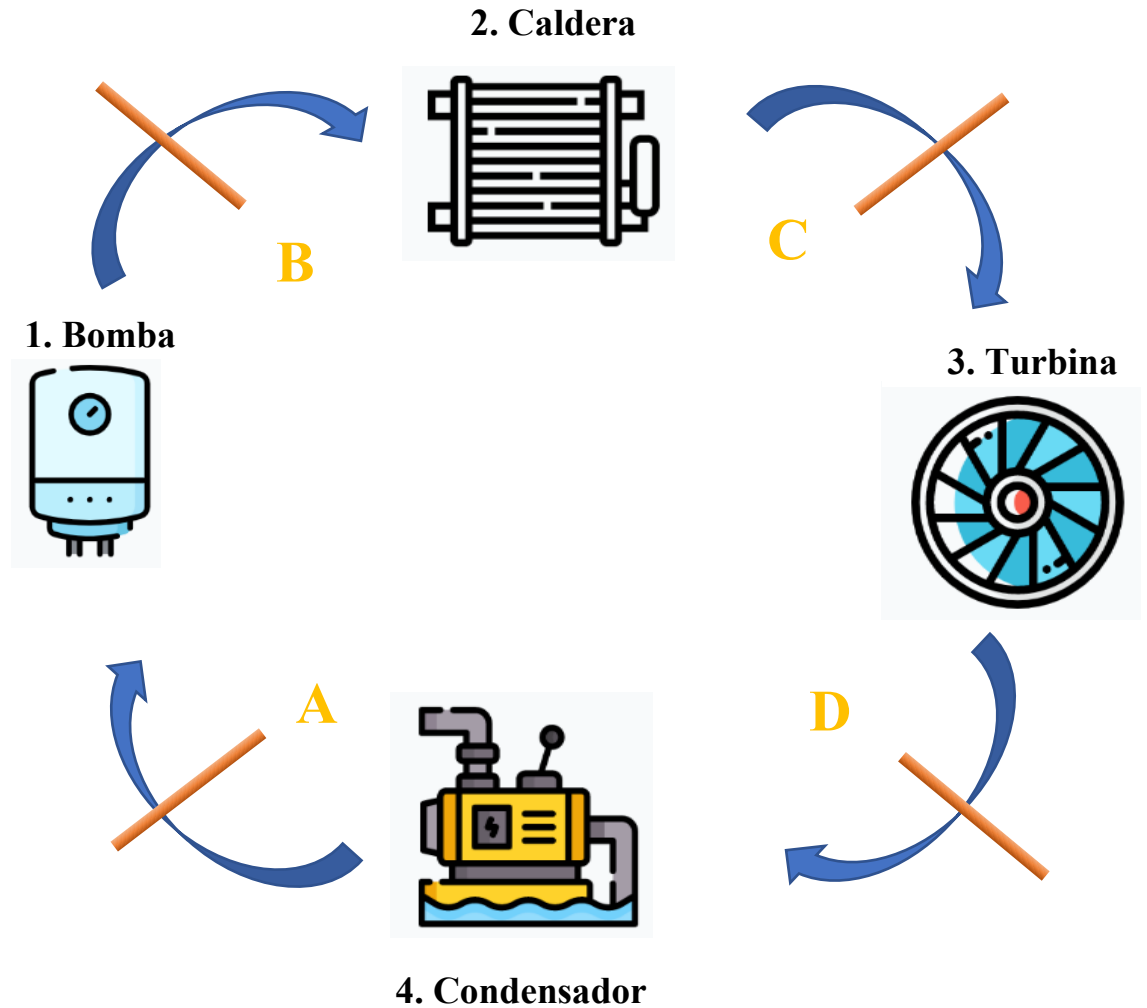


Ilustración 23: Ciclo Rankine

Donde:

A: El agua entra en este punto en estado líquido saturado, este proceso necesita ayuda de la bomba para que se condense isoentrópicamente, lo que significa que la entalpia se mantenga constante hasta llegar al punto B.

B: La caldera sirve como un intercambiador de calor fundamental, por lo que el agua entra como liquido subenfriado y sale como vapor sobrecalentado, gracias a que el proceso tiene presión constante.

C: El vapor sobrecalentado llega a la turbina, donde se expande isentrópicamente produciendo trabajo al ocasionar girar el eje conectado a un generador eléctrico. En este punto los valores de presión y temperatura han disminuido.

D: El vapor entra al condensador como vapor húmedo, aquí el vapor se condensa a presión constante debido a que el condensador rechaza el calor hacia un medio de enfriamiento, luego el vapor sale como líquido saturado y entra a la bomba completando el ciclo.

Este proceso se puede mejor apreciar con la siguiente gráfica de temperatura contra entropía (Ver Ilustración 24: Gráfica: Ciclo Rankine)

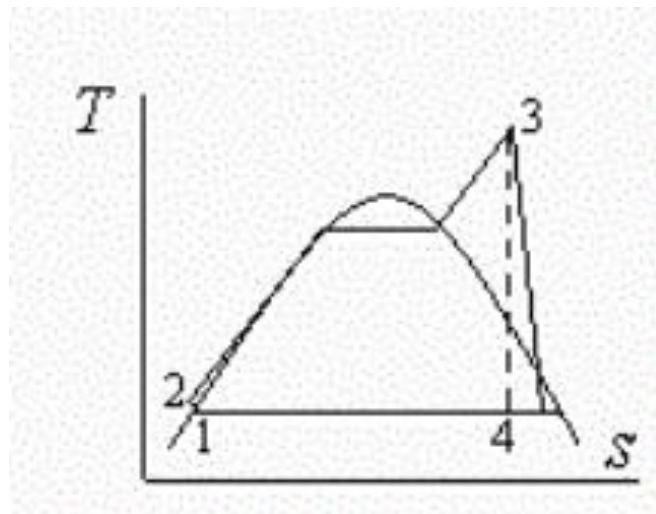


Ilustración 24: Gráfica de Ciclo Rankine

Donde:

- I. En este punto que vapor esta como liquido saturado, el vapor se está expandiendo a la bomba necesita trabajo, esto se supone sin transferencia de calor, en el caso ideal no existen irreversibilidades, por lo tanto, no hay cambios de entropía, se observa una evolución isentrópica. De lo contrario si existieran irreversibilidades, la entropía variaría. Al salir de la bomba se encontrará como un líquido subenfriado.

- II. El líquido se va a la caldera a presión constante hasta transformarse a vapor sobrecalentado, donde habrá una absorción de calor en el sistema.
- III. Entra a la turbina, donde va a producirse trabajo, esto se supone una evolución adiabática, en caso de ser ideal isentrópico.
- IV. Llega al condensador donde se produce calor a presión constante, de aquí sale como líquido saturado.

En resumen, del Ciclo Rankine, consiste en calentar agua en una caldera hasta evaporarla y elevar la presión del vapor, este va hasta a la turbina donde produce energía cinética debido a la pérdida de presión, continúa hasta encontrar al condensador donde lo que queda de vapor pasa a estado líquido para poder entrar a una bomba que le aumentará la presión para nuevamente dirigirse a la caldera.

La eficiencia de este ciclo está dada por la ecuación:

$$\eta = 1 - \frac{T_b}{T_a}$$

Ecuación 2: Eficiencia del Ciclo Rankine

Donde:

T_a: Temperatura en la caldera

T_b: Temperatura en el condensador

3.11 Ciclo Otto

Este ciclo también es conocido como de cuatro tiempos (admisión, compresión, explosión y escape), es característico de los motores de combustión interna. Los motores de los autos convencionales a gasolina usan este ciclo por ignición del combustible, todo este proceso se realiza dentro de un cilindro provisto de un pistón. (Ver Ilustración 25: Ciclo Otto)

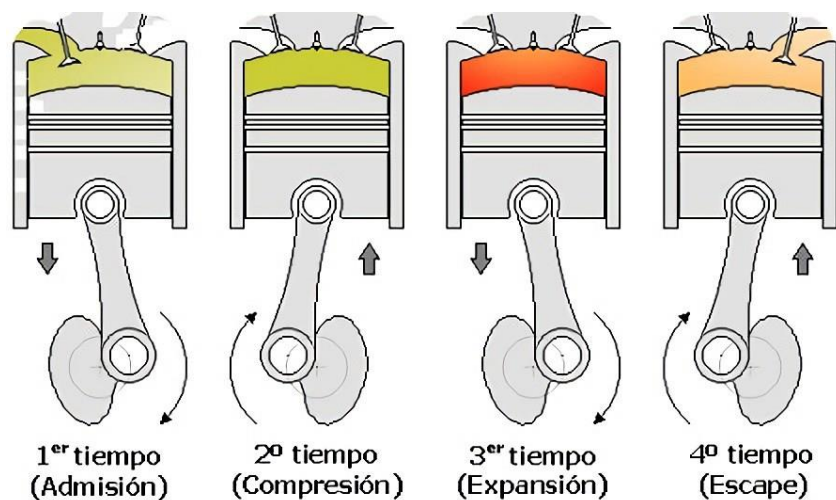


Ilustración 25: Ciclo Otto

- I. Primer tiempo (Admisión): La válvula de admisión se abre, permitiendo el acceso del combustible con pequeñas partículas de aire, al terminar este acceso esta válvula se cierra. El pistón se desplaza al punto muerto inferior.
- II. Segundo tiempo (Compresión): La mezcla de aire y combustible se comprimen sin intercambiar calor con el exterior.

- III. Tercer tiempo (Expansión): La bujía se activa, se produce una chispa, la mezcla se enciende y se expande adiabáticamente, en este punto la presión aumenta a volumen constante. La energía química liberada se convierte en energía mecánica.
- IV. Cuarto tiempo (Escape): La válvula de escape se abre, expulsando los productos de la combustión, al finalizar esta etapa, el proceso vuelve a continuar

Al igual que el caso anterior, se puede explicar mediante el siguiente gráfico:

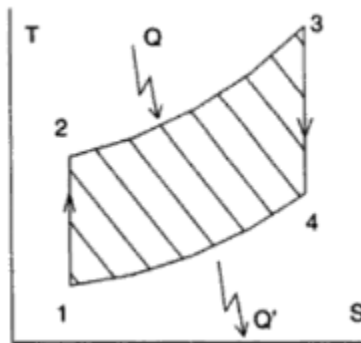


Ilustración 26: Gráfica Ciclo Otto

Donde:

1-2: El combustible ingresa y se comprime isentrópicamente.

2-3: Aporte energético, la bujía se activa y produce una chispa.

3-4: Expansión isentrópica.

4-1: La válvula de escape se abre, hay una cesión de energía a volumen constante.

La eficiencia de este ciclo esta dado por la ecuación:

$$\eta = \frac{Q - Q''}{Q} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \frac{Q - Q''}{Q} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}}$$

Ecuación 3: Eficiencia del Ciclo Otto

Donde:

$$\epsilon = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{relación de compresión}$$

$$K = \frac{c_p}{c_v} \quad \begin{array}{l} \text{relación de los calores específicos de la mezcla} \\ \text{combustible comburente a presión} \\ \text{constante y a volumen constante} \end{array}$$

Q= Calor de entrada

Q'' = Calor de salida

3.12 Ciclo Miller

Este Ciclo es una variación del Ciclo Otto, ya que los fabricantes han buscado la manera de mejoras en el consumo de los combustibles. En lo único que varía del Ciclo Otto, es en la fase de compresión, ya que la válvula de admisión continúa abierta durante una parte del movimiento ascendente.

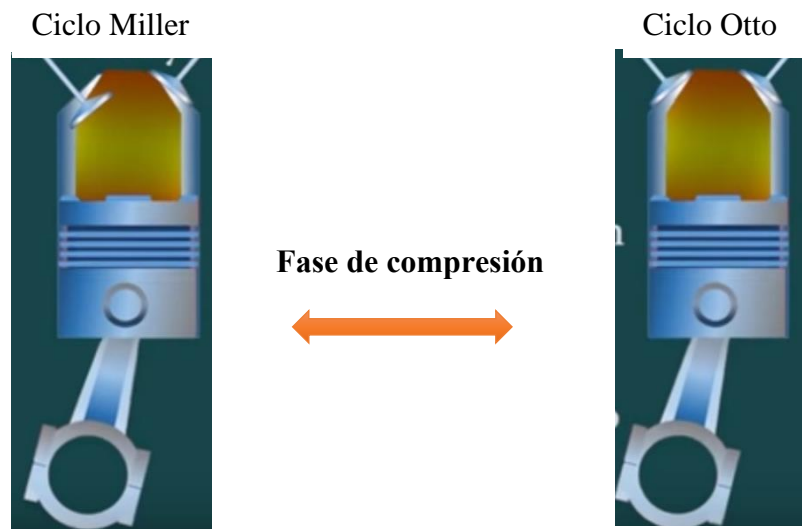


Ilustración 27: Ciclo Miller vs Ciclo Otto

Esta diferencia frente al Ciclo Otto significa que la relación de compresión es mayor, además, usa un compresor para aumentar la presión de los gases de admisión y radiador para enfriarlos.

3.13 Ciclo Bayton

Este ciclo también es conocido como ciclo Joule. Se usa principalmente para el funcionamiento de la turbina de gas, para la generación de electricidad y la propulsión de buques y aviones, su funcionamiento consta de cinco etapas (Ver Ilustración 28: Ciclo Brayton)

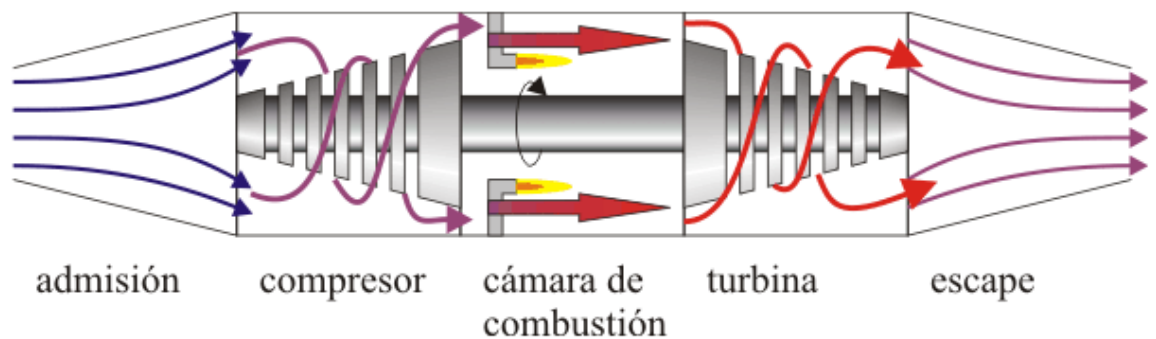


Ilustración 28: Ciclo Brayton

1. Admisión: Se permite el ingreso de aire frío para el proceso
2. Compresor: El aire es comprimido y se dirige a la cámara de combustión., ya que la combustión del aire comprimido y del combustible es más eficiente que el aire sin comprimir. Este compresor es movido gracias a una turbina. [8]
3. Cámara de combustión: En este proceso el aire es calentado, el combustible es inyectado a una presión alta.

4. Turbina: El aire ingresa, este se expande y enfría simultáneamente, al pasar el aire provoca el movimiento de la turbina.
5. Escape: Finalmente el aire frío sale al exterior.

Gráficamente hablando el ciclo se describirá (Ver Ilustración 29: Grafica Ciclo Brayton):

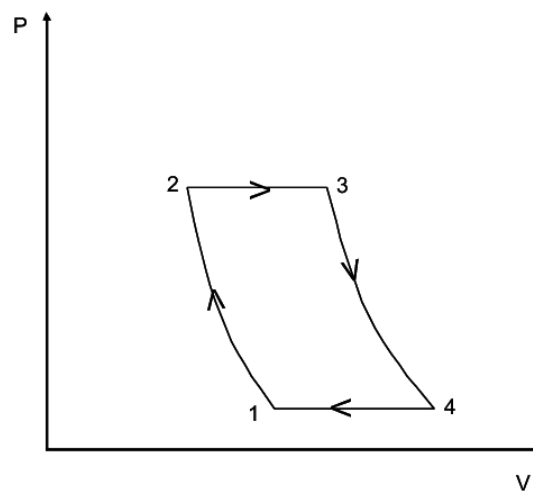


Ilustración 29: Gráfica Ciclo Brayton

Donde:

1-2: El aire ingresa (compresión isentrópica).

2-3: El combustible que fue previamente inyectado es sometido a combustión a una presión constante.

3-4: Ocurre una expansión isentrópica en la turbina.

4-1: Es liberado el aire con calor a presión constante.

La eficiencia que tiene este ciclo en general es “lo que resulta entre lo que cuesta”, es decir, trabajo neto útil (W) y calor (Q_c):

$$\eta = \frac{|W|}{|Q_c|}$$

Ecuación 4: Eficiencia del Ciclo Brayton

3.15 Cogeneración de energía

Para comenzar, cogenerar es una palabra compuesta del prefijo “co” que viene el latín CUM preposición que rige ablativo y del verbo generar, por lo que significa producir más de una cosa, como mínimo dos. [8]

En el diccionario de la Real Academia Española (RAE), se define como la producción simultánea de calor y electricidad en una central termoeléctrica.

Dentro de la Ley de Transición Energética en términos del artículo 3, fracción VI, define a la cogeneración a los siguientes tres casos:

1. “Generación de energía eléctrica producida conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria o ambos” (Ilustración 30: Cogeneración definición. I)

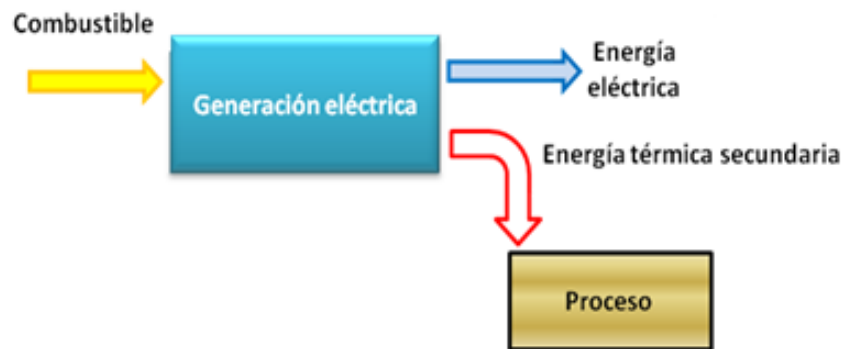


Ilustración 30: Cogeneración definición I

2. “La producción directa o indirecta de energía eléctrica mediante la energía térmica no aprovechada en los procesos” (Ilustración 31: Cogeneración definición II)

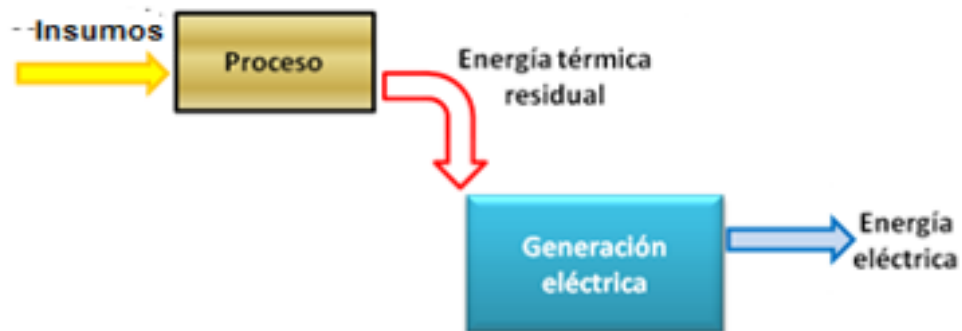


Ilustración 31: Cogeneración definición II

3. “La generación directa o indirecta de energía eléctrica cuando se utilicen combustibles producidos en los procesos” (Ilustración 32: Cogeneración definición III)

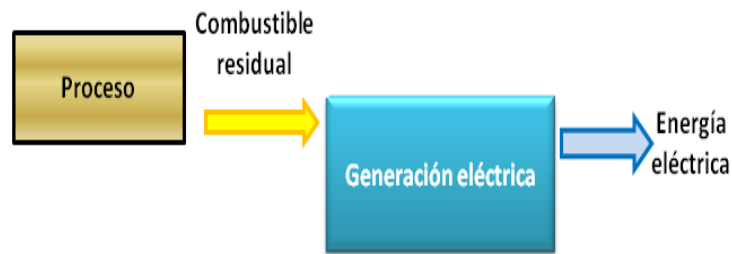


Ilustración 32: Cogeneración definición III

De acuerdo a la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026. La cogeneración se ha identificado como una de las siete medidas prioritarias para el uso sustentable de la energía y la reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el país.

3.16 Tipo de Cogeneración

La cogeneración se puede aplicar de diversas formas, estas dependerán del uso de las necesidades energéticas del usuario.

Conocer también la relación calor/electricidad, calor/energía mecánica que se requiere para el suministro y consumo. Cuando se tiene el conocimiento de esta relación, el siguiente paso es conocer el estado entálpico en que suministrar a la energía térmica.

Cuando ya se tiene conocimiento de esta relación se concluye que cuando la relación de calor/electricidad es mayor, se utilizara una turbina, cuando la relación calor/electricidad sea menor se utilizara motores. Uno de los factores que más influye en la elección son las cuestiones económicas del usuario. [10]

3.17 Componentes básicos de un sistema de cogeneración

Principalmente un sistema de cogeneración se compone de siguiente:

- Fuente de energía primaria, (fuel, gas natural o gasóleo)

- Máquina motriz, las cuales pueden ser:
 - a) Turbina de vapor
 - b) Turbina de gas
 - c) Motor de combustión interna
- Sistema de aprovechamiento de energía mecánica, como un alternador, aunque también puede tratarse de compresores o bombas, es decir donde la energía mecánica se aprovecha directamente.

Sistema de aprovechamiento de calor puede tratarse de:

- a) Calderas recuperadoras de calor de gases de escape
 - b) Intercambiadores de calor
 - c) Secaderos
- Sistema de refrigeración, siempre una parte de la energía térmica no será aprovechada en su totalidad y debe de ser evacuada. Para ayudar a esto los componentes pueden ser:
 - a) Aerocondensadores
 - b) Intercambiadores
 - c) Torres de refrigeración
 - Sistema de tratamiento de agua, tanto el sistema de refrigeración como el de aprovechamiento de calor requieren unas especificaciones en las características físico-químicas del fluido que utilizan (generalmente agua) que requiere de una serie de sistemas para su tratamiento y control. [11]
 - Sistema de control, es donde se lleva el monitoreo de distintos parámetros, en general permite operar al sistema.

3.18 Motores y turbinas

Un motor es una máquina que transforma un combustible natural o procesado industrialmente, en energía mecánica, su funcionamiento está basado en el Ciclo Otto.

El motor es el equipo principal se compone a una planta de cogeneración.

Estos se clasifican de acuerdo a la energía que utilizan y en la forma de transformar la misma.

Una turbina es una máquina que al pasar fluido en forma continua a través de un sistema de alabes, aprovecha la presión de este fluido para transformarlo en un trabajo mecánico. Su funcionamiento está basado en el Ciclo Brayton.

En general se clasifican en dos grupos principales; hidráulicas y térmicas. Las primeras el fluido utilizado no sufre cambios de densidad a través de su paso por la turbina, por ejemplo, las utilizadas en aerogeneradores. Las segundas su fluido experimenta cambios de densidad considerables a su paso por esta máquina.

Las ventajas las turbinas y los motores se describen en la siguiente tabla:

Concepto	Turbina	Motor
Rendimiento mecánico	35 %	40%
Oxígeno en los gases de escape	14%	1-2%
Nivel entálpico de la energía remanente	Alto	Dividido en: gases de escape y agua de refrigeración
Ruidos y vibración	Alto	Medio
Grado de contaminación atmosférica	Similar	Similar
Costes de mantenimiento	Alto	Medio
Respuesta a cambios de solicitud de potencia para una misma máquina	Malo	Bueno

Tabla 9: Ventajas y desventajas de la turbina y el motor

Por lo tanto, si se requiere una potencia variable se utilizará un motor, por el contrario si la potencia solicitada es constante se recomienda el uso de una turbina. Los criterios más tomados en cuenta en la elección de un motor es la potencia nominal del equipo principal, la velocidad de giro, tamaño, entre otros.

El principal parámetro a considerar es el rendimiento eléctrico, ya que es la cantidad de energía eléctrica que es capaz de generar por unidad de combustible, esto radica en el acoplamiento con la red eléctrica, el combustible utilizado se traduce en generación eléctrica y por lo tanto en factores económicos. [11]

Los motores tienen una eficiencia en la generación de energía eléctrica mayor a las turbinas de gas, pero su rendimiento térmico es inferior

Si se busca una opción económicamente viable, se recomienda el uso de un motor.

Por otra parte, en las plantas de cogeneración se utilizan motores alternativos cuando tienen una potencia de 15 kW a 5 MW, mientras que en las turbinas se puede superar los 500 MW. [12]

Las máquinas más usadas para la cogeneración de energía son:

- Motor alternativo de gas o fuel
- Turbina de Gas
- Turbina de vapor

3.19 Motor alternativo de gas o fuel

El motor alternativo, es un motor térmico cíclico cuya función es la de convertir la energía química contenida en combustible en energía mecánica de rotación de un eje.

En estos motores, el calor es recuperado del sistema de lubricación del sistema de enfriamiento y de los gases de escape. En la Ilustración 33: Cogeneración con un motor alternativo, se muestra de manera general la implementación de este en un sistema de cogeneración.

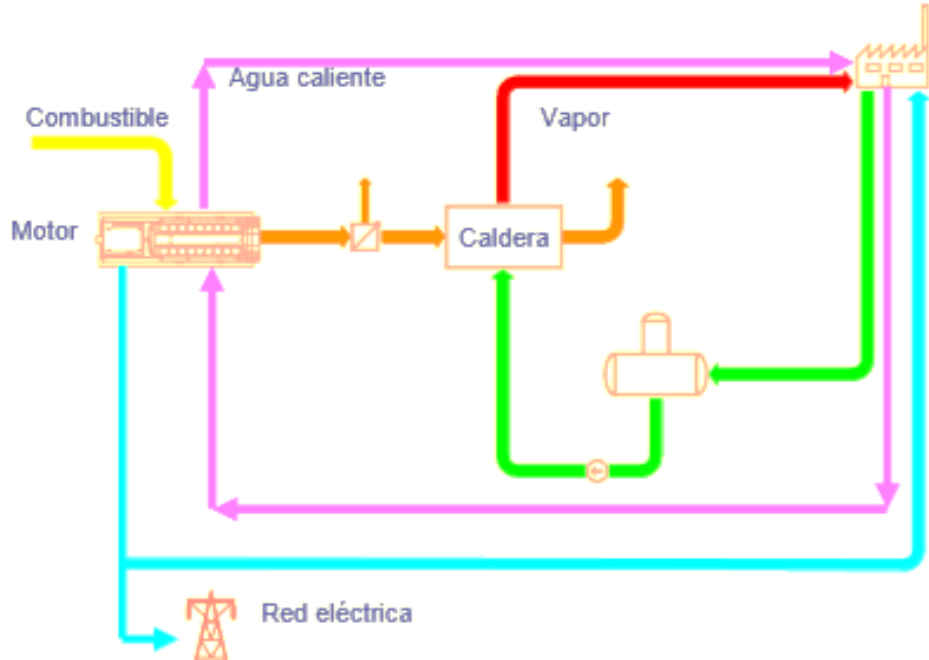


Ilustración 33: Cogeneración con motor alternativo

De acuerdo a la Guía de Cogeneración de COGEN España, en los motores de gas o fuel ha tenido una mejora en la disminución de emisiones, gracias al aumento de compresión y a la mejora en el control de la combustión para evitar la detonación. Estos motores tienen como principales desventajas la emisión de contaminantes, altos costos de mantenimiento y consumo de aceite lubricante.

Para disminuir estas desventajas que representan pérdidas económicas hay dos diseños fundamentales, el primero es mejor conocido como el diseño tradicional (Ver Ilustración 34: Diseño tradicional)

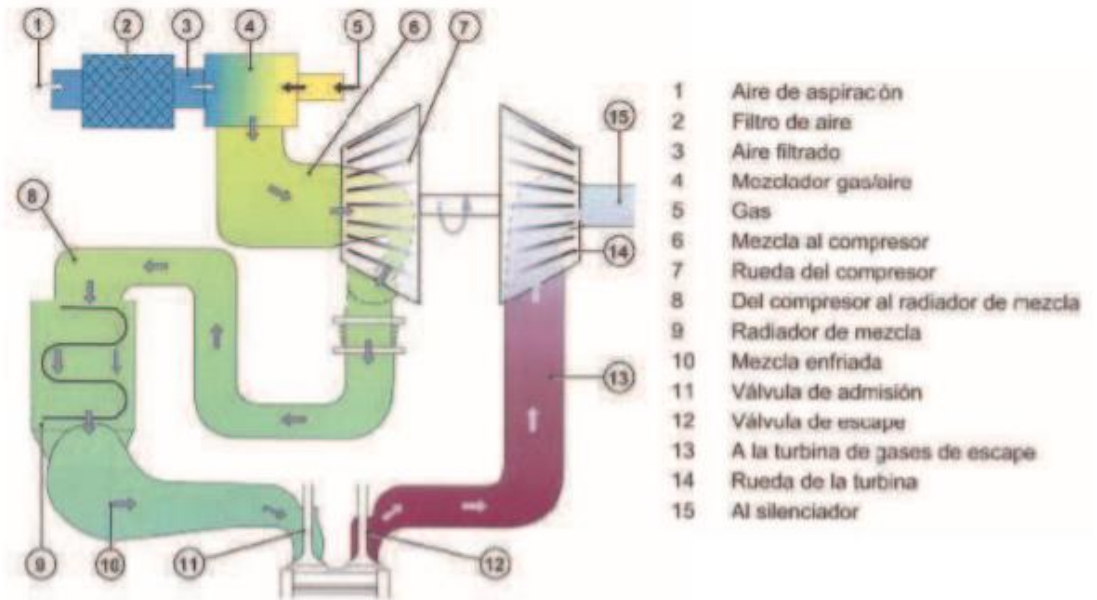


Ilustración 34: Diseño tradicional

Donde se toma el gas a baja presión en un carburador y la mezcla con aire se comprime antes de introducirse al cilindro, esto bajo el principio del Ciclo Otto.

El otro diseño comprime el aire y el gas que se introduce a la válvula de admisión, bajo el principio del Ciclo Miller.

El Ciclo Otto y su eficiencia dependen de la presión media efectiva en el cilindro y la temperatura máxima, por ello, existe un límite de eficiencia. En el Ciclo Miller se aumenta la expansión que es la que resulta al trabajo útil y disminuye el trabajo de compresión.

Con respecto a los combustibles utilizados, el gas natural es un hidrocarburo que generalmente se compone de 80 a 90% de metano, se consume tal y como se extrae de los yacimientos.

De acuerdo a datos recabados de la Fundación Gas Natural de las Guías técnicas de energía y medio ambiente; el gas natural es el combustible que emite menos gases contaminantes (Ver Ilustración 35: Emisiones contaminantes del gas natural)

Emisiones de CO₂ (g CO₂/kWh útil generado)

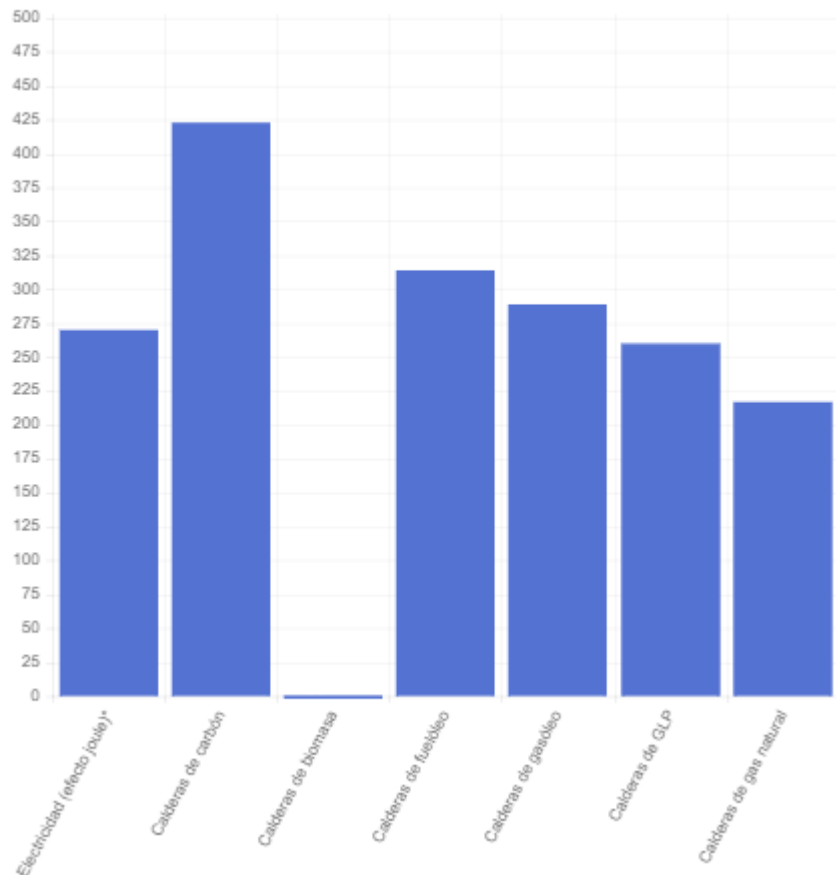


Ilustración 35: Emisiones contaminantes del gas natural

Como se observa en la gráfica, el gas natural es el segundo combustible que menos emite gases contaminantes por unidad de energía producida (SO₂, CO₂, NO_x y CH₄), en comparación del uso de la biomasa, mientras que el uso del carbón como combustible es el mayor emisor de gases contaminantes. Las emisiones del efecto Joule están sujetas al consumo de electricidad.

En relación al fuel, es un gasóleo de baja densidad y viscosidad este puede provenir de productos residuales de derivados de procesos de destilación atmosférica o por mezclas en procesos conocidos como visbreaking, los cuales consisten en transformar residuos pesados de una torre de destilación en compuestos mucho más ligeros.

El uso de ellos dependerá del usuario.

En un sistema de cogeneración estos combustibles al quemarse producen un trabajo mecánico. A la par durante el proceso de combustión se desprende una gran cantidad de energía calorífica, la cual se disipa hacia la atmosfera.

Una vez equipando al motor con dispositivos de intercambio, puede trabajar como un sistema de cogeneración. El calor que se desprende los gases de escape, de los circuitos de refrigeración y de radiación del propio motor, se puede utilizar para procesos de calefacción, calentamiento de agua, etc.

3.19 Ciclo combinado con motor alternativo

En el uso del ciclo combinado con motor alternativo, el calor contenido en los gases de escape del motor se recupera en una caldera de recuperación, produciendo vapor en el rango comprendido entre los 15 y 25 bar, que es utilizado en una turbina de vapor para producir más energía eléctrica o energía mecánica.

El circuito de refrigeración de una muy temperatura del motor se recupera en intercambiadores, y el calor recuperado se utiliza directamente en la industria asociada a la planta de cogeneración. El calor del escape de la turbina de vapor también puede aprovecharse, en cuyo caso mejora el rendimiento global.

En la Ilustración 36, se puede ver el procedimiento básico del uso del ciclo combinado con motor alternativo mencionado anteriormente.

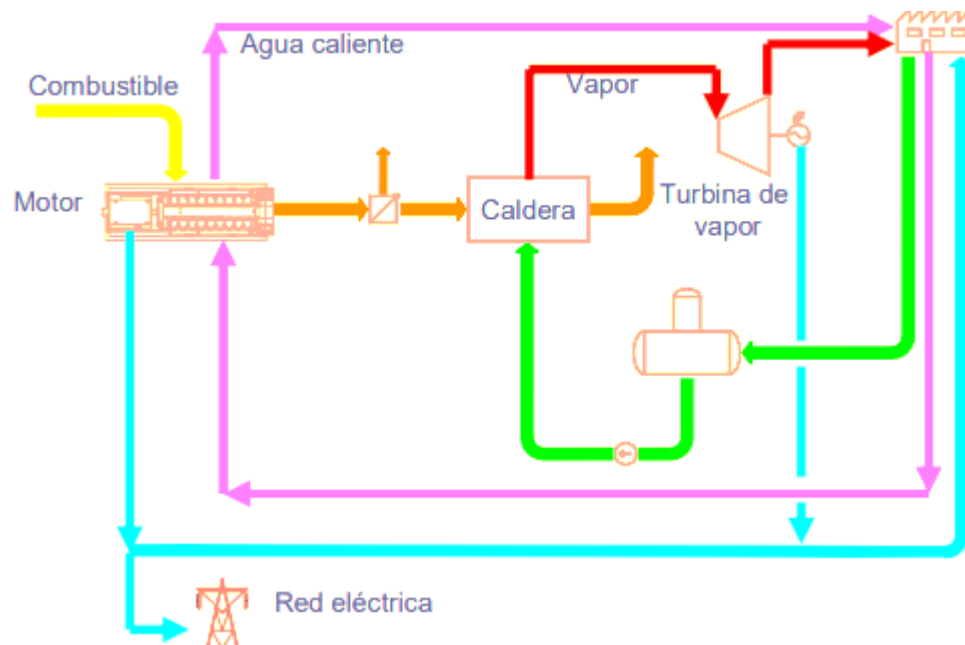


Ilustración 36: Ciclo combinado con motor alternativo

3.20 Aplicaciones de la cogeneración con motores

La aplicación del motor de gas en cogeneración tiene una desventaja que es la utilización de calor adecuadamente, lo que implica gastos económicos, pero tiene la gran ventaja de tener un alto rendimiento eléctrico.

Pueden recuperarse lo siguiente:

- Agua de refrigeración del aceite de lubricación
- Calor de la radiación del motor y refrigeración del alternador
- Gases de escape

Con ello le pueden dar uso las siguientes industrias:

- Instalaciones de gases directos y agua caliente de AT para secado (cerámica roja, secado de áridos), utilizan el calor en un horno, en secadero, el horno usa temperaturas muy altas, los cuales pueden usar agua caliente para el secadero.

- Instalaciones del sector alimentario (lácteos y derivados, embutidos, zumos), dentro de este sector las necesidades de temperatura estarán siempre presentes, como el frío para mantener a los alimentos.
- Plantas de tratamiento de purines, el estiércol fluido porcino, las aguas de limpieza de establos y restos de la comida del ganado porcino significan residuos en cantidades que aumentan anualmente, se utiliza plantas de tratamiento que tienen la intención de conseguir producto utilizable de estos residuos como abono. Se requiere procesos de evaporación y secado con temperaturas menores de 100°C, lo cual lo hace ideal para la aplicación de la cogeneración.
- Plantas de secado de madera, pellet, forrajes y pulpas, en este sector secan constantemente productos, cuya demanda de calor de bajo nivel de temperatura es muy importante, es ideal para la cogeneración con motores.
- Plantas de secado de lodos de depuradora, los lodos que utilizan contienen humedad, lo cual es importante secarlos con calor para facilitar su manipulación y disminuir los costos de transporte, como en el caso anterior.

3.22 Con turbina de Gas

El funcionamiento de las turbinas de gas es el del Ciclo Brayton, es un sistema termodinámico abierto. Están constituidas básicamente por un compresor, una o varias cámaras de combustión y una turbina accionada por gases provenientes de cámaras de combustión.

Al igual que los motores convierten la energía química contenida en los combustibles en energía eléctrica y térmica.

Las turbinas de gas, aspiran el aire de la atmosfera y lo comprimen en un compresor rotativo para llevarlo a una cámara de combustión donde el producto de la combustión se expande a la turbina hasta la presión atmosférica. La energía eléctrica se obtiene de un alternador acoplado mediante un reductor o directamente conectado al eje de la turbina que aprovecha el trabajo del ciclo. [11]

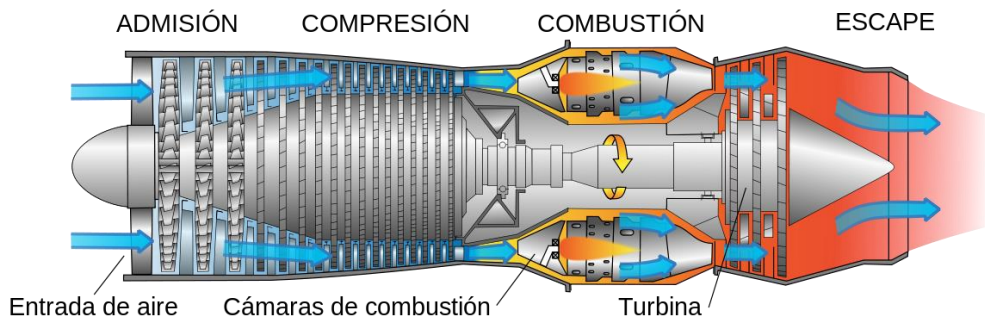


Ilustración 37: Turbina de gas

Su rendimiento eléctrico es inferior al de los motores alternativos, pero su ventaja es que permiten la fácil recuperación de calor y tienen un número importante de horas de funcionamiento de demanda de calor continua.

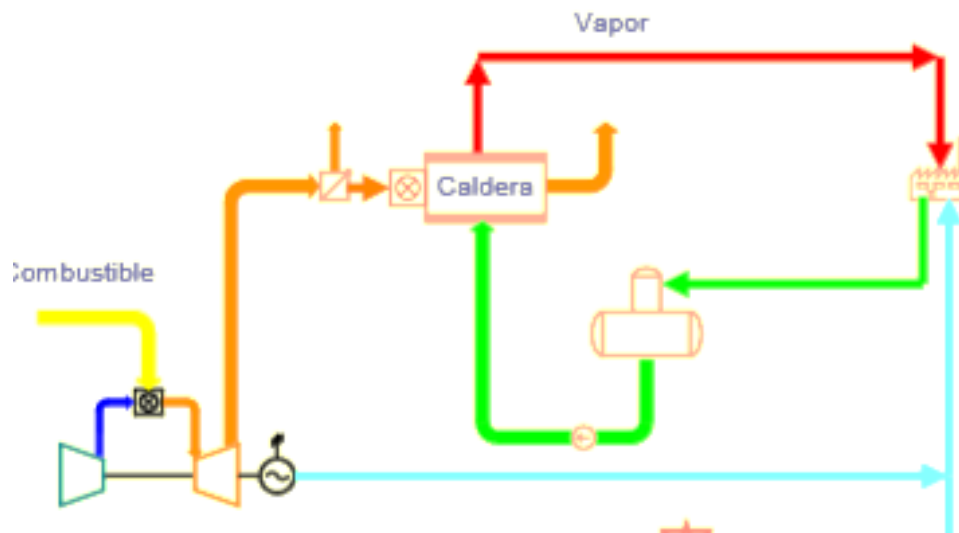


Ilustración 38: Cogeneración con turbina de gas

En la Ilustración 38: Cogeneración con turbina de gas se muestra el procedimiento básico de una turbina de gas en un sistema de cogeneración.

Si existe el caso de que la demanda de calor es mayor a la se pueden dar los gases de escape, se puede introducir una cantidad de combustible a un quemador especial, con el que cuenta de la caldera, gracias a que los gases de escape son suficientemente ricos en oxígeno. Por el contrario, los motores alternativos constan de un contenido de gas menor y aseguran la combustión, por ello es necesario proveerlo previamente de oxígeno.

Existen dos tipos básicos de turbinas de gas: de combustión interna o de ciclo abierto y de combustión externa o de ciclo cerrado.

3.23 Turbinas de gas de combustión interna o de ciclo abierto

Son máquinas rotativas accionadas por la expansión de gases calientes y presión debido a una ignición de combustible (gas) y aire en la cámara de combustión. Por ello el nombre de turbina de combustión interna.

Este tipo de turbinas siempre harán uso de la cámara de combustión interna para suministrar calor. Los combustibles después de pasar por la turbina son expulsados al ambiente y el compresor aspira de nueva cuenta aire. [12]

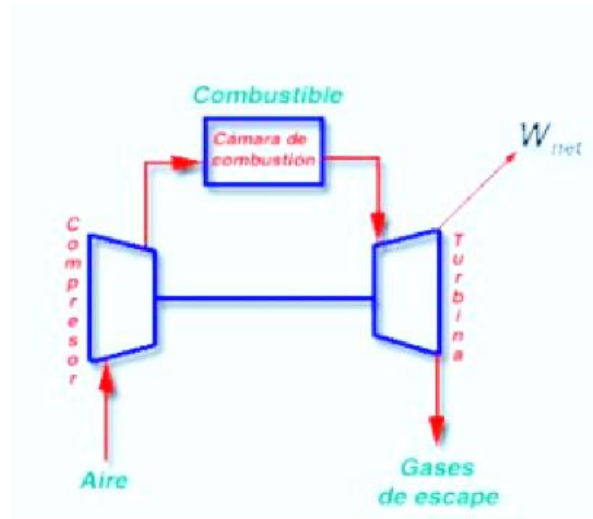


Ilustración 39: Turbina de gas ciclo abierto

3.24 Turbinas de gas de combustión externa o de ciclo cerrado

Las turbinas de gas de combustión externa su fluido de trabajo puede ser aire o un gas inerte (helio, argón). Su proceso es cerrado recibiendo y dando calor.

Sus principales ventajas de este tipo de turbinas es que los combustibles no tienen contacto con el interior, con ello se deriva a no tener desgaste y corrosiones.

Esta turbina solo se utiliza para el uso de grandes potencias, su implementación implica costos muy altos de instalación y mantenimiento.

La turbina de gas de ciclo cerrado siempre utilizará un proceso de transferencia de energía para remover o agregar calor del fluido del trabajo.

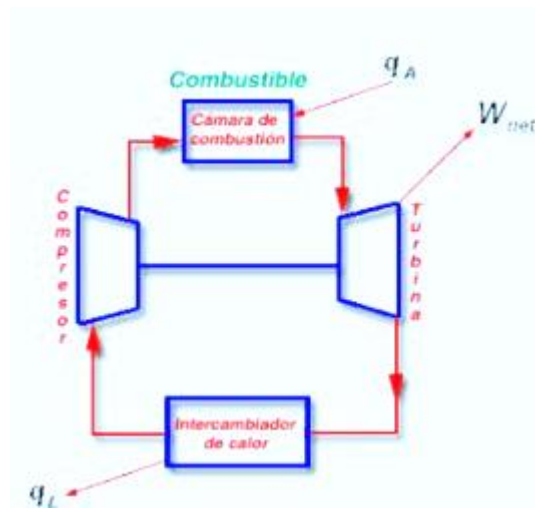


Ilustración 40: Turbina de gas ciclo cerrado

3.25 Con turbina de vapor

Una turbina de vapor es una máquina rotativa que transforma el vapor de agua en energía mecánica, el ciclo termodinámico que utilizan es el ciclo Rankine.

Esta máquina sigue un ciclo abierto, ya que los fluidos que pasan a través se renuevan.

Su funcionamiento se basa en que el aire aspirado de la atmósfera es comprimido para después dirigirse a una cámara de combustión, donde se mezcla con el combustible y se produce una ignición. Los gases calientes resultantes de esta ignición van a través de la turbina donde estos se expansionan y mueven al eje, se acciona el compresor de la turbina, así como un alternador. [13]

Al igual que las turbinas de gas, el eje está acoplado a un alternador directamente o a través de un reductor, convirtiendo la energía mecánica en energía eléctrica.

Este ciclo fue el primero en utilizarse en la aplicación de cogeneración, sin embargo, en la actualidad ha sido limitado y solo se utiliza para la aplicación de ciclos combinados o en instalaciones de biomasa y residuos.

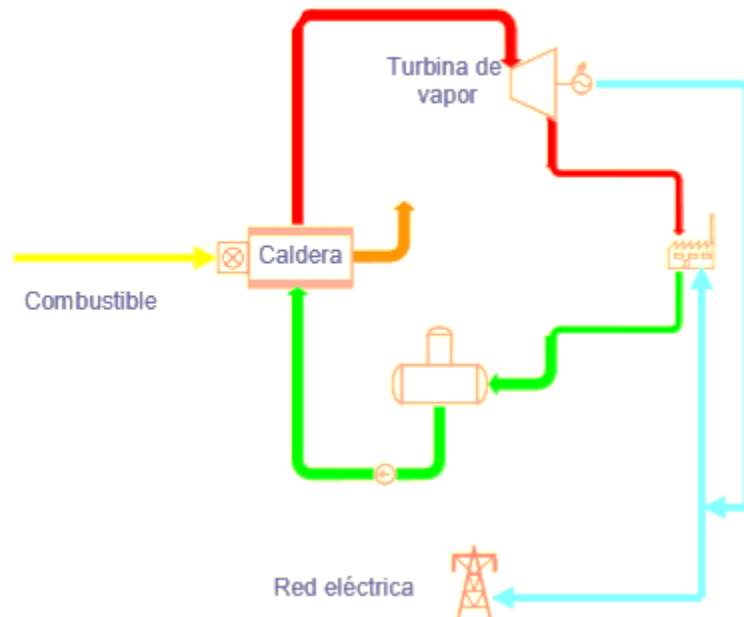


Ilustración 41: Cogeneración con turbina de vapor

Dependiente de la presión de salida de vapor se clasifican en turbinas contrapresión y turbinas de condensación.

3.26 Turbinas de contrapresión y condensación

Las turbinas de contrapresión hacen que el vapor de escape tenga una mayor presión. Este tipo de turbinas son usadas en fábricas, donde el vapor de escape se emplea en el proceso de fabricación.

Las turbinas de condensación, por el contrario, el vapor de escape liberado a una menor presión con ello cumple con uno de sus objetivos principales de producir la

mayor energía mecánica posible. El vapor liberado es enviado a un condensador refrigerado.

3.27 En ciclo combinado con turbina de gas

En esta aplicación se utilizan conjuntamente una turbina de gas y una de vapor, por ello el nombre de ciclo combinado.

Su funcionamiento radica en que los gases de escape de la turbina atraviesan la caldera de recuperación, donde se produce vapor a alta presión. Este vapor resultante se expande en una turbina de vapor produciendo energía eléctrica extra. El vapor de escape de esta turbina será a una baja presión, el cual se puede condensar para producir agua caliente, para el uso de la industria.

En este ciclo cuando la demanda de calor se ve disminuida, el vapor residual de escape de la turbina puede condensarse, con lo que la energía de los gases no se desperdiciará, sino que se producirá una cierta cantidad de energía. [13]

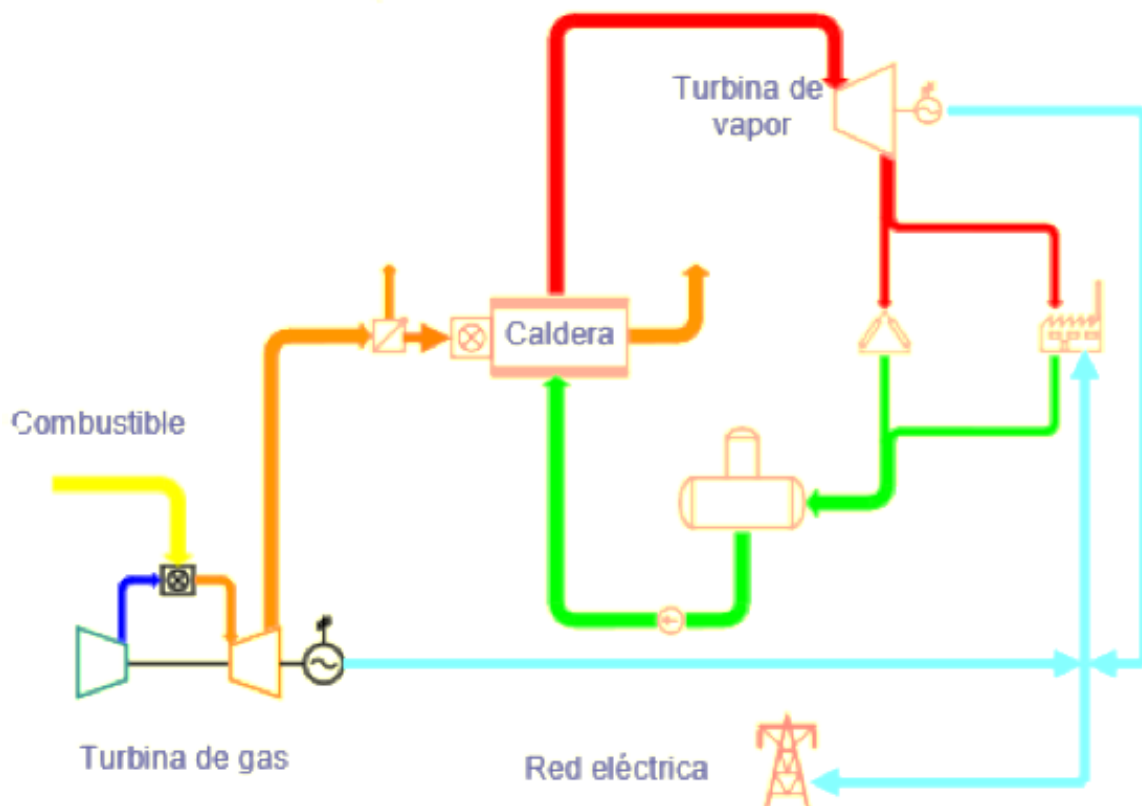


Ilustración 42: Cogeneración con ciclo combinado con turbina de gas

En este ciclo el proceso que se le da al vapor es fundamental para lograr una eficiencia del mismo. Por ello, la selección de la presión y la temperatura se hace en función de los gases de escape de la turbina de gas y las condiciones necesarias para la fábrica.

Una variante de este ciclo es que la turbina de vapor expande el vapor a una presión elevada y a una presión menor es decir que trabaja a contrapresión, el calor proveniente del primer ciclo se aprovecha de ciclo combinado a condensación, quedando como elemento final del proceso.

3.28 Aplicaciones de la cogeneración con turbinas

El rendimiento eléctrico de estas máquinas es muy variable, dependerá de su diseño y tamaño, este va desde 20% con turbinas pequeñas y a partir de 30 MW va desde un 40 a un 45%. La electricidad producida de los gases de escape tiene temperaturas de 500°C que permite utilizar este vapor para agua caliente o lo que requiera el consumidor. [11]

Algunas industrias que utilizan este tipo cogeneración son las siguientes:

- I. Instalaciones de gases directos para secado (minerales, atomizadores de cerámicas), ya que manejan sustancias que utilizan absorbentes, por lo tanto, el secado de estas es fundamental.
- II. Instalaciones en el sector alimentario (lácteo y derivados), habitualmente en este sector se emplea consumos de vapor y agua caliente y fría para la producción de leche y sus derivados.
- III. Plantas del sector de celulosa y papel, estas plantas utilizan calderas de licor negro la cual su combustión produce vapor.
- IV. Plantas del sector de fibra sintética y del sector textil, utilizan calor en forma de vapor para la elaboración de las prendas.
- V. Plantas del sector químico, requieren vapor a diferentes niveles de presión, lo que la hace adecuadas para un ciclo combinado.
- VI. Plantas del sector automovilístico, aquí no hay consumos específicos de calor, sin embargo, al tratarse de un sector de mayor producción para mejorar su competitividad, terminan teniendo grandes consumos de calor.
- VII. Plantas de producción de sales industriales, estas plantas suelen estar equipadas de un sistema de concentración por evaporación, por ello utilizan vapor para obtener la salmuera.

- VIII. Plantas del sector refino, las refinerías tienen grandes demandas de calor para procesos de destilación y termodinámicos.

3.29 Clasificación de los sistemas de cogeneración

Una de las clasificaciones más importantes de los sistemas de cogeneración es de acuerdo al orden de producción de electricidad y de energía térmica, por ello se pueden clasificar en:

- I. Sistemas superiores (Topping cycles)
- II. Sistemas inferiores (Bottoming cycles)

Los sistemas superiores (Topping cycles), son aquellos que utilizan el calor residual producto de la generación de electricidad. Por lo tanto, el calor residual del escape se usa aprovecha. Este proceso es usado en industrias que necesiten vapor o agua caliente para realizar sus funciones.

En los sistemas inferiores (Bottoming cycles) en cambio utiliza la energía generada para satisfacer las necesidades térmicas de los procesos, mientras que el calor residual se utiliza para generar electricidad. tales como los gases calientes de escape.

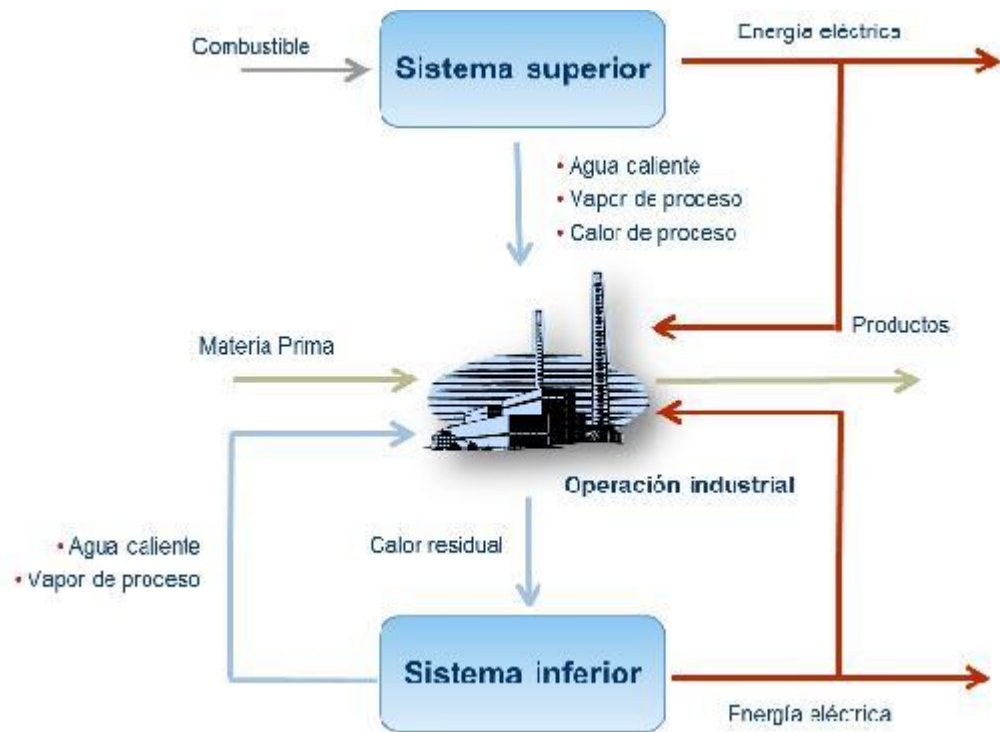


Ilustración 43: Sistema superior e inferior

Por lo tanto, el ciclo combinado es una configuración especial basada en estos sistemas.

3.30 Impacto ambiental de las plantas de cogeneración

Cuando se habla de cogeneración, no solamente se relaciona con la eficiencia energética, si no con reducción de contaminación.

De acuerdo a la Guía de la Cogeneración de la comunidad de Madrid, la aplicación de la cogeneración en una industria hace que las emisiones contaminantes sean menores ya que emiten CO₂ en menor cantidad por KWh producido en comparación de otras centrales térmicas, las emisiones de NO_x (grupo de gases como el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂)) y de CO (monóxido de carbono) están en rangos permitidos. Las emisiones de SO₂ (dióxido de azufre) son inapreciables cuando se utiliza gas natural como combustible.

En Tabla 8: Emisiones de plantas de cogeneración, elaborada con datos recopilados de esta Guía de Cogeneración expresa las emisiones netas por unidad de energía

eléctrica producida, es decir, sin contar las emisiones necesarias para producir calor útil y suponiendo que este se hace con un 90% de rendimiento:

Tabla 10: Emisiones de plantas de cogeneración

Contaminante	Turbina de Gas	Cogeneración en Ciclo Combinado	Motor de Gas	Motor con Fuelóleo	Central Eléctrica en Ciclo Combinado	Central Eléctrica de carbón
NO2	0.20	0.20	1.2	7.2	0.24	3.4
SO2	-	-	-	3	-	15
CO2	245	210	284	530	350	1000
CO	0.1	0.1	0.6	1.7	0.1	1.0

En términos generales puede decirse que la concentración de NOx puede ser reducido con inyecciones de agua o vapor. En la tabla se muestra a la turbina de gas funcionando con gas natural y un motor Diesel con fuel y gas natural.

Las concentraciones de óxidos de azufre dependen del combustible utilizado.

Hay que considerar que el diseño de la maquina y de la cámara de combustión van a tener influencia en el número de estas emisiones.

3.31 Trigeneración

La Trigeneración es el proceso mediante el cual se genera de manera simultánea, electricidad, energía térmica en forma de calor (agua sobrecalentada o vapor) y energía térmica en forma de frio.

Las plantas de trigeneración son conocidas como Combined Heat and Cold (CHCP).

Estas plantas son idénticas a las de cogeneración, excepto que se les añade un sistema de compresión o absorción, con el fin de lograr una refrigeración. Por lo tanto, estas plantas se componen de un módulo de cogeneración y otro de trigeneración.

Un sistema de trigeneración se compone de salidas simultáneas; electricidad, agua caliente y agua fría.

Su funcionamiento básicamente radica en que un generador es impulsado por un motor alternativo o turbina, mediante la ignición de un combustible para producir la electricidad que se genera en el sistema, el calor resultante se utiliza para agua caliente o para la calefacción mediante una máquina de absorción, es así como el agua caliente y fría puede emplearse para determinadas tareas.

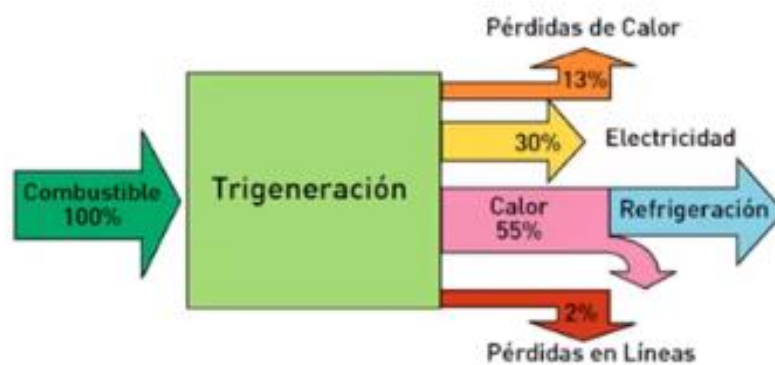


Ilustración 44: Trigeneración de energía

Tiene como beneficios:

- I. Mayor eficiencia energética: esta alcanza hasta el 90%
- II. Fiador de energía: en lugares donde la caída de tensión es común, las operaciones continúan a pesar de las condiciones climáticas del lugar, que pueden afectar a la transmisión de electricidad de una central descentralizada
- III. Recorte de costos: derivado del uso de un solo combustible, recorta costos para las empresas, además disminuye costos de transporte de esta energía generada

- IV. Reducción de emisiones: debido a la producción simultanea de electricidad, calor y frio de una fuente de carbono reduce de una manera importante las emisiones contaminantes
- V. Los sistemas de absorción están diseñados para recuperar energías de bajo nivel térmico y los gases de escape de una turbina de gas o el calor de un motor son fuentes ideales
- VI. El consumo de calor para absorción permite poner frecuentemente una turbina de gas mayor, lo que mejora notablemente el rendimiento eléctrico global
- VII. Las plantas de trigeneración representan menor perdidas en la red eléctrica, ya que las instalaciones están más cerca del punto de consumo
- VIII. No solo es una inversión estratégica, también es una inversión amigable al medio ambiente

Una planta de trigeneración, se configuran por una turbina con un alternador, un sistema de refrigeración, ya sea por torres de enfriamiento o por condensadores, calderas, motores de combustión interna. Dependiendo de la tecnología que se esté empleando la configuración de la planta puede variar de acuerdo a los equipos que componen cada ciclo a implementar. (Ver Ilustración 45: Configuración de una planta de trigeneración)

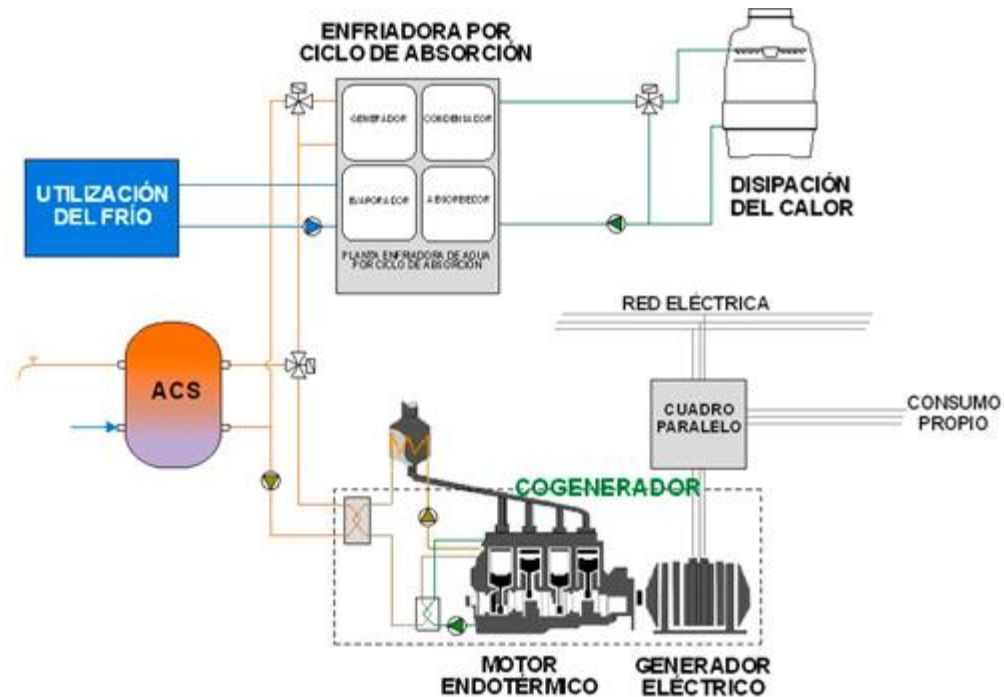


Ilustración 45: Configuración de una planta de trigeneración

El tipo de combustible que se emplea normalmente es gas natural, con fuel o duales (gas y combustible líquido). El gas natural es el combustible más versátil para la cogeneración, ya que puede ser usado en motores de alternativos de ciclo Otto, calderas o turbinas de gas. En cambio, el fuelóleo solo puede usarse en motores diésel y los gases del fuelóleo no pueden enfriarse mucho ya que la temperatura que limita su rendimiento global.

3.32 Tetragneración

La tetragneración es el proceso simultaneo de producir energía eléctrica, calor, frio y energía mecánica aprovechable en una turbina para producir aire comprimido o accionar bombas.

La tetragneración es muy eficiente y como se mencionó en el párrafo anterior extrae cuatro diferentes energéticos derivado de un solo energético primario.

Este concepto no debe de ser confundido con cuatrigeneración donde las emisiones de dióxido de carbono son capturadas para purificarlo para usarlo como fertilizante carbónico en un ambiente de cultivo de plantas para mejorar su desarrollo.

Estos sistemas se emplean cuando la demanda de calor y de frío es estable, ya que se requerirían disipadores de calor para liberar el calor sobrante. Un ejemplo donde se pude implementar esta tecnología es centros comerciales, hospitales, invernaderos secado de ropa, etc.

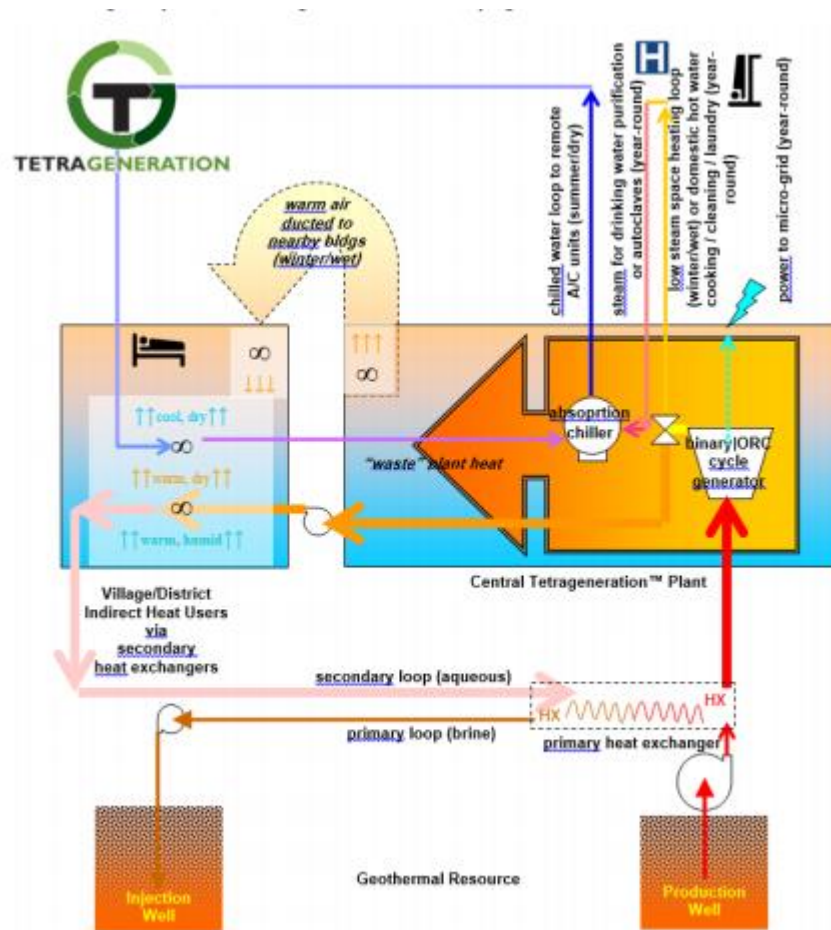


Ilustración 46: Tetrageneración

3.33 Ventajas de la Cogeneración para la Industria

En la cogeneración de energía no solo representa ahorros energéticos, hay múltiples ventajas, sin embargo, las más representativas son las siguientes:

- De acuerdo a la Iniciativa para el desarrollo de las Energías renovables en México, la cogeneración es la tecnología de generación de energía que menos costos de Gases de Efecto Invernadero (GEI) representa.

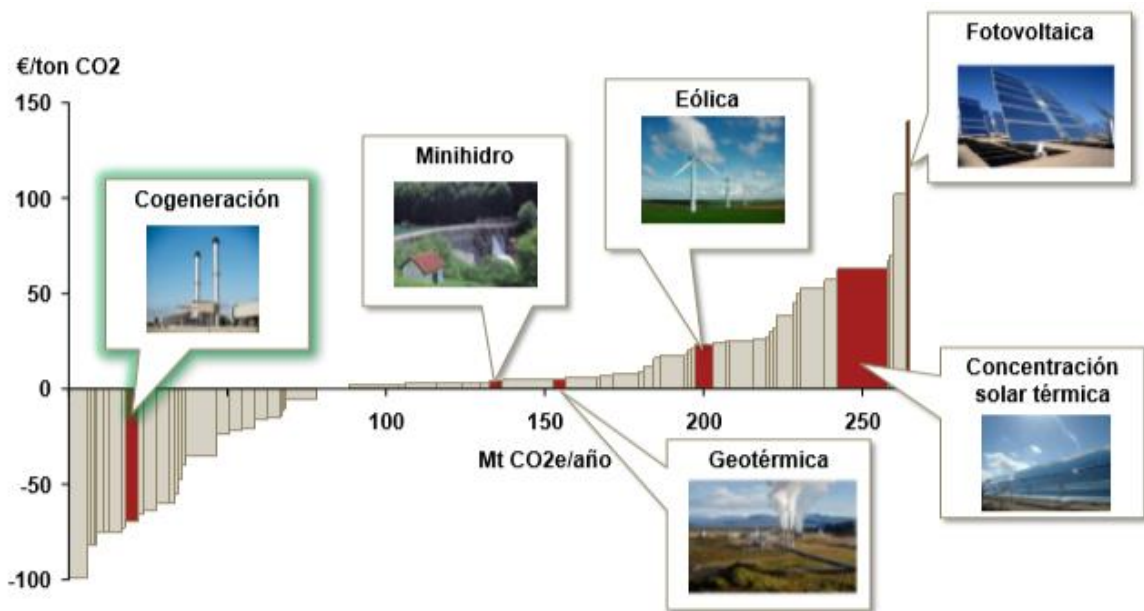


Ilustración 47: Costos de abatimiento de GEI en México 2020

- Es la única tecnología de generación que permite obtener múltiples beneficios, sin depender de subsidios públicos.
- Las plantas de cogeneración permiten ahorros energéticos, posibilidad de venta de excedentes eléctricos a la red y autoconsumo.

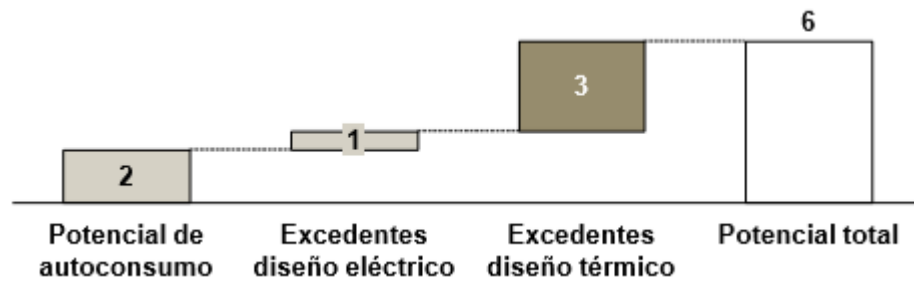


Ilustración 48: Potencial de la cogeneración de energía

- En relación con la Iniciativa para el desarrollo de las Energías renovables en México, los costos de mantenimiento y operación se estiman entre 5 y 12 US\$/MWh (dependiendo del tipo de tecnología implementada). Sin embargo, estos precios se ven despreciables ante el CAPEX (Inversiones de capital que crean beneficios).
- Tras la implementación de cogeneración en México, se reconoce la cogeneración eficiente y se otorgan beneficios de porteo.
- En relación a los datos recabados de empleos generados de carácter permanente con una duración mínima igual al periodo analizado (2012-2020) del INEGI, se tiene que la incorporación de 8 GW de instalación de cogeneración durante 2012-2020, ha implicado impactos agregados en el PIB (Producto Interno Bruto) de 300,00 MDP, lo cual genera aproximadamente 47,200 puestos de trabajo.

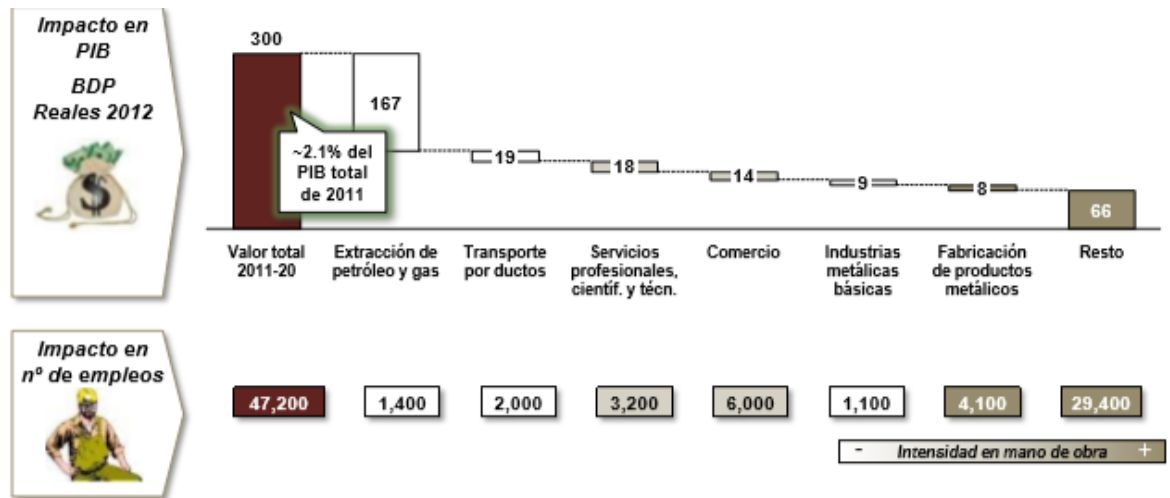


Ilustración 49: Impacto en el PIB tras la implementación de la cogeneración

- Con el incremento de la potencia instalada, se puede favorecer el desarrollo de componentes para la cogeneración.
- De acuerdo al Estudio sobre cogeneración en el Sector Industrial en México realizado por la CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía), la cogeneración permite capturar hasta el 7% del potencial de abatimiento de emisiones CO₂.
- La cogeneración de energía puede ser una alternativa de banco de energía para cubrir las demandas de los horarios de facturación base intermedia y punta. (Ver Ilustración 50: Demanda de energía en horarios facturables)

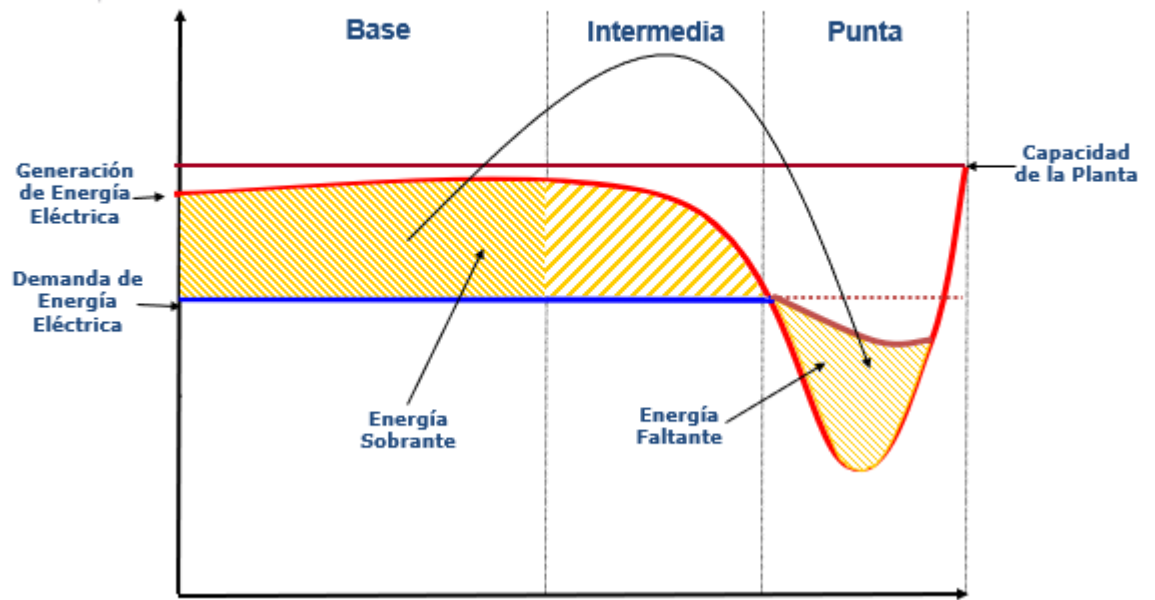


Ilustración 50: Demanda de energía en horarios facturables

- De acuerdo a la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026, la cogeneración se ha identificado como una de las siete medidas prioritarias para el uso sustentable de la energía y la reducción de los gases de invernadero.
- En cogeneración, con 100 unidades de energía primaria se obtienen 90 unidades de energía producida, 60 que corresponden a energía térmica y 30 de energía eléctrica. Para obtener los mismos resultados con un sistema convencional son necesarias 68 unidades con caldera a gas y 84 unidades con una planta generadora de electricidad, o sea, 152 unidades de energía primaria.



Ilustración 51: Sistema convencional vs cogeneración

- Se está buscando proporcionar incentivos fiscales para reducir el costo del proyecto, los cuales tendrán que ir especificados en la Ley del Impuesto sobre la Renta (LISR), artículo, fracción XII.
- Se busca constantemente modificar legislaciones para el desarrollo significativo de la cogeneración en México.
- Existen fondos que financian proyectos de cogeneración, tales como el Fondo de Sustentabilidad Energética de la Secretaría de Energía y CONACyT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología).
- En contraste de otras tecnologías renovables, la cogeneración aporta seguridad de suministro.
- Al ahorrar electricidad, aumenta la competitividad de las industrias.

- La cogeneración representa una gran brecha de potencial por desarrollar, ya que como se mencionaba en capítulos anteriores la implementación de la cogeneración aun no es muy madura.

Capitulo IV. Aplicaciones, perspectivas e impacto de la cogeneración en México

Como se mencionaba en capítulos anteriores en México no está muy maduro el desarrollo de la cogeneración, aunque se han desarrollado estrategias e incentivos para promover más su aplicación.

En 1992 con la LSPEE (Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica), por primera vez aparece la modalidad de la cogeneración. Sin embargo, ya existían permisos con esquemas de cogeneración denominados como “Usos propios continuos”

Entre 1992 y 2007 solo se instalaron nueve sistemas de cogeneración que equivalen a 166 MW. [14], cuando en 2007 había 262,681.3 MW de generación bruta en el país, de acuerdo con los permisos autorizados por la CRE.

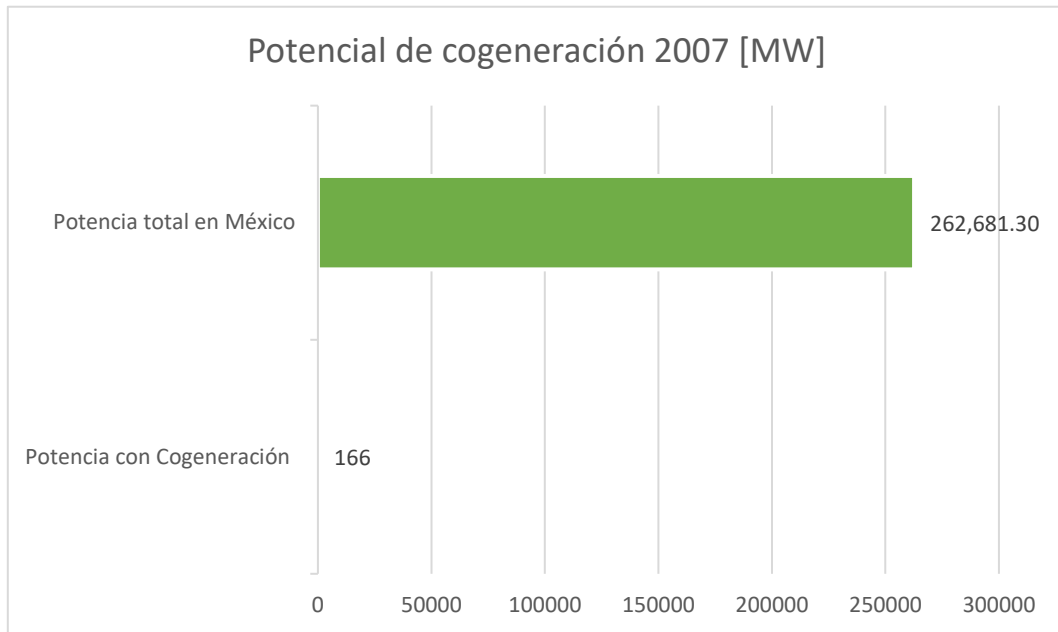


Ilustración 52: Potencial de cogeneración 2007

4.1 Principales sectores cogeneradores

De acuerdo a la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), identifica a los siguientes sectores como los principales potenciales para la aplicación de la cogeneración en el país:

- Industrial
- Petróleo
- Gas

Estos son los sectores que se están tomando en cuenta ya que, de acuerdo al Estudio sobre Cogeneración en el Sector Industrial en México, para estudiar el potencial de cogeneración se tomó en cuenta a las empresas con una demanda mayor o igual a 1 MW y el factor de carga mayores a un 50% (la carga promedio dividida por la carga máxima en un período de tiempo específico).

En México los sectores con más potencial sobre el desarrollo de la cogeneración, son el químico y el automotriz, (tamaño de la bola), demanda media por instalación (eje vertical) y factor de carga medio (eje x); ambos dentro del sector industrial. (Ilustración 52: Sectores con mayor potencial de cogeneración. [16])

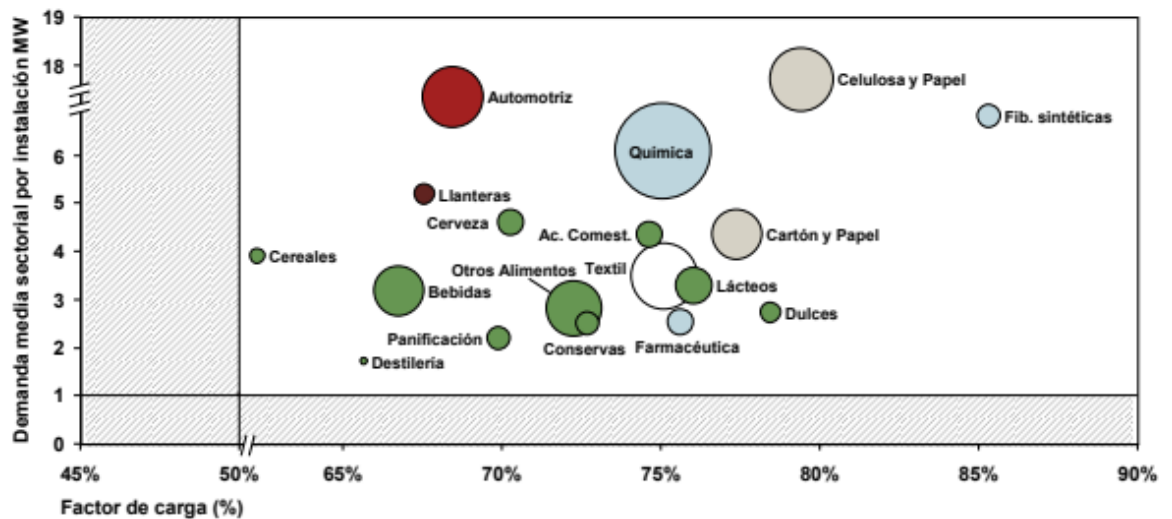


Ilustración 53: Sectores con mayor potencial de cogeneración

4.1.1 Sector del petróleo y del gas

Pemex se considera que es uno de los principales consumidores de energía eléctrica y térmica en el país, de acuerdo a datos de la CONUEE del 2010, para ese entonces Pemex contaba con 2150 MW, lo que equivalía a un 4% de capacidad del SEN.

PEMEX está organizado en un corporativo y tres organismos independientes:

- PEMEX Refinación.
- PEMEX Gas y Petroquímica Básica, la cual separa información de gas y de complejos petroquímicos.
- PEMEX Exploración y Producción

“En 2006, la producción de crudo promedió 3,256 miles de barriles diarios, dos por ciento menos a lo registrado en 2005. Por otra parte, la producción de crudo pesado decreció seis por ciento, debido principalmente a la disminución en la producción de Cantarell; mientras que la producción de crudo ligero y superligero se incrementó cuatro y 25 por ciento, respectivamente.

En cuanto a la producción de gas natural, esta aumentó once por ciento en relación con 2005, ubicándose en 5,356 millones de pies cúbicos diarios. El volumen de gas no asociado se incrementó 22 por ciento, de 1,864 millones de pies cúbicos diarios en 2005 a 2,266 millones en 2006, debido principalmente a una mayor producción en los activos Veracruz y Burgos. Asimismo, el volumen de gas asociado aumentó cinco por ciento, de 2,954 millones de pies cúbicos diarios en 2005 a 3,090 millones en 2006. Este incremento se debió principalmente a la terminación y reparación mayor de los pozos de los campos Ixtal y Taratunich, localizados en la Región Marina Suroeste.” [15]

De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo y con el Programa Sectorial de Energía 2007-2012, Petróleos Mexicanos estableció una estrategia para optimizar el uso de la energía eléctrica, orientada a lograr el autoabastecimiento, aumentar la eficiencia y confiabilidad del suministro, así como a disminuir sus costos. Así, el 23 de septiembre de 2008 PEMEX presentó su “Estrategia para optimizar el uso de la energía eléctrica en Petróleos Mexicanos”. Esta estrategia a grandes rasgos contiene información a largo, mediano y corto plazo, donde su principal objetivo es el desarrollo del potencial de cogeneración con fines de venta de excedentes, porteo, aumento de eficiencia global y fines de autoabastecimiento.

4.1.2 Sector Industrial

Dentro de este sector se pueden englobar a las industrias de la celulosa y el papel, la azucarera, cervecerías, lácteos, alimentos, la petroquímica, entre otras. Este sector

representa el 25% del consumo energético del país, en relación a la Iniciativa para el desarrollo de las Energías Renovables en México.

Para marzo de 2008, la Secretaría de energía informó que existían 739 industria grandes y 215,707 industrias medianas abastecidas por el SEN en todo tipo de tarifas, para un total industrial de 216,404 empresas. [15]

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. [15]

La industria azucarera representa por si sola el 7% de consumo industrial nacional, sin embargo, apenas vierten excedentes a la red, ya que generan el 95% de la energía que consumen, hasta el 2010 se generó 745 Twh, de los cuales solo el 5% se vendió a CFE. [16]

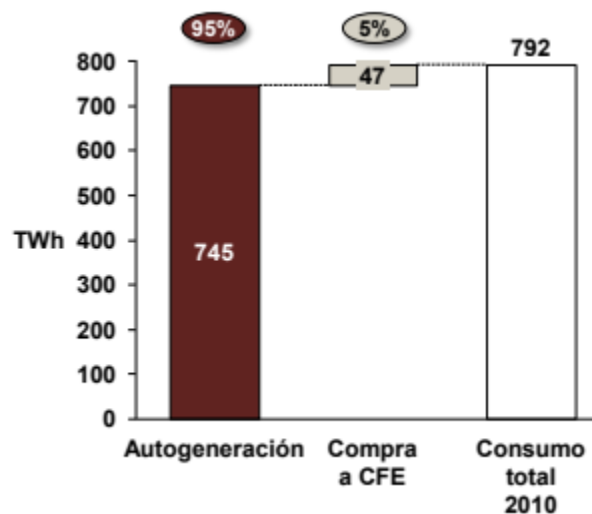


Ilustración 54: Capacidad de ingenios azucareros

4.2 Centrales de cogeneración en México

Con datos recopilados de la CRE, de Tabla de permisos de generación e importación de energía eléctrica administrados al 31 de enero de 2020, se muestra el siguiente mapa de la República Mexicana donde se visualizan algunas de las centrales del país que cuentan con un permiso de cogeneración:

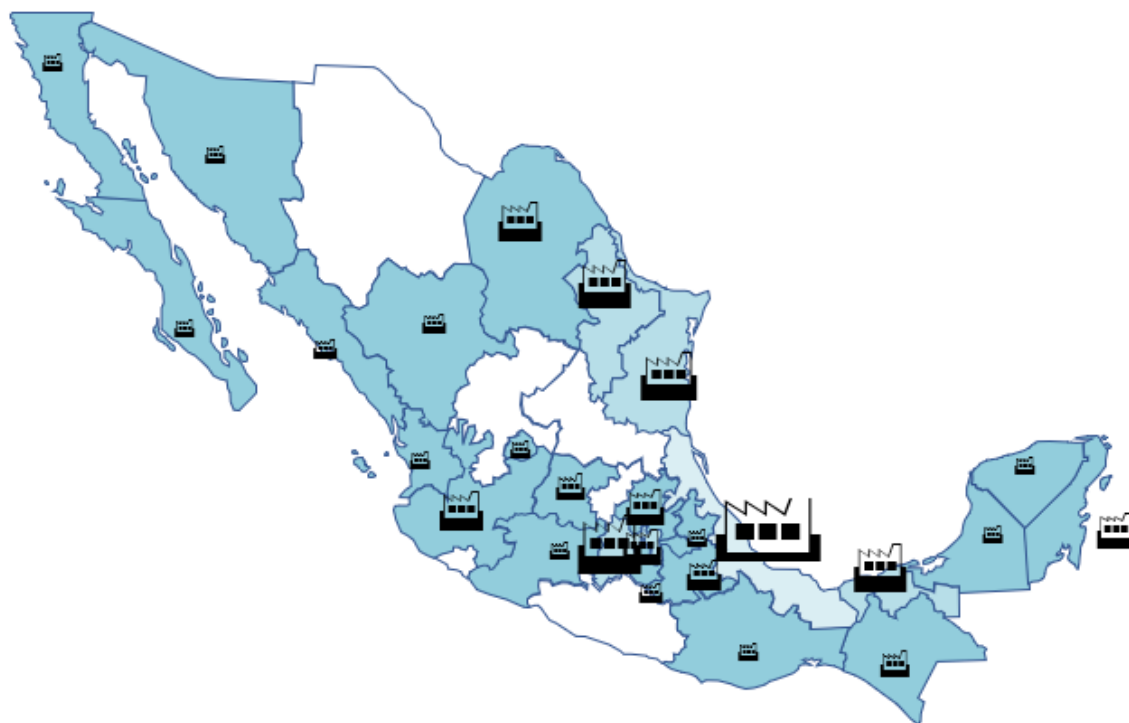


Ilustración 55: Centrales de cogeneración por Estado

Con ello, en la Ilustración 53: Cantidad de Plantas por Estado, se puede apreciar que en el Estado de Veracruz (19) y en el Estado de México (10) es en donde más se haya la instalación de esta tecnología, mientras que en los Estados de Aguascalientes (1) y Oaxaca (1), es en donde menos predomina.

En la Ilustración 55: Medio de cogeneración en México, se observa que en el país predomina la aplicación de la cogeneración con turbina de gas, turbina de vapor y con combustión interna, predominando el uso de la turbina de gas.

Cantidad de plantas por Estado

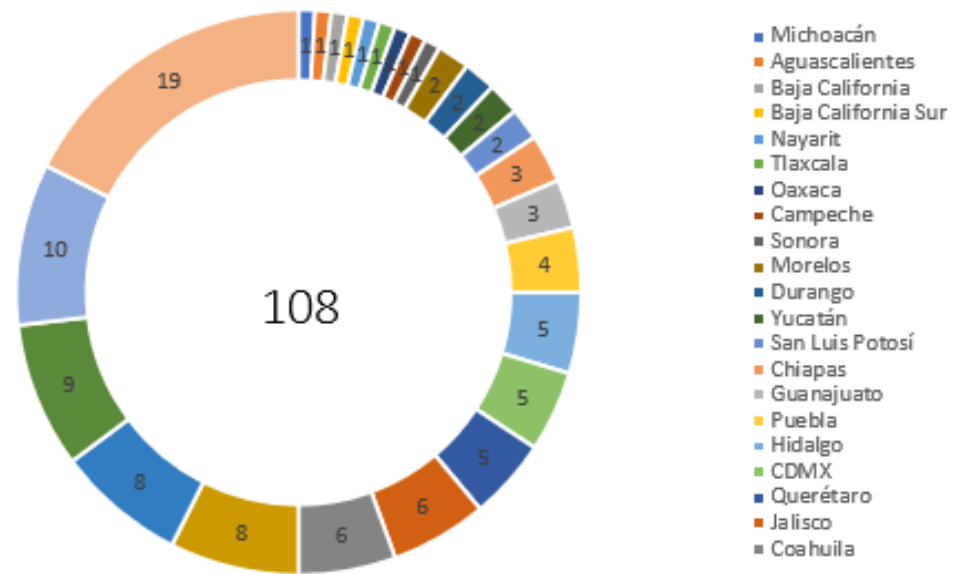


Ilustración 56: Cantidad de centrales por Estado

De las cuales las siguientes hasta 2017 cuentan con la certificación de cogenerador eficiente, como en el caso de arriba Veracruz es el Estado con más MW certificados:



Ilustración 57: Cogeneradores eficientes del país

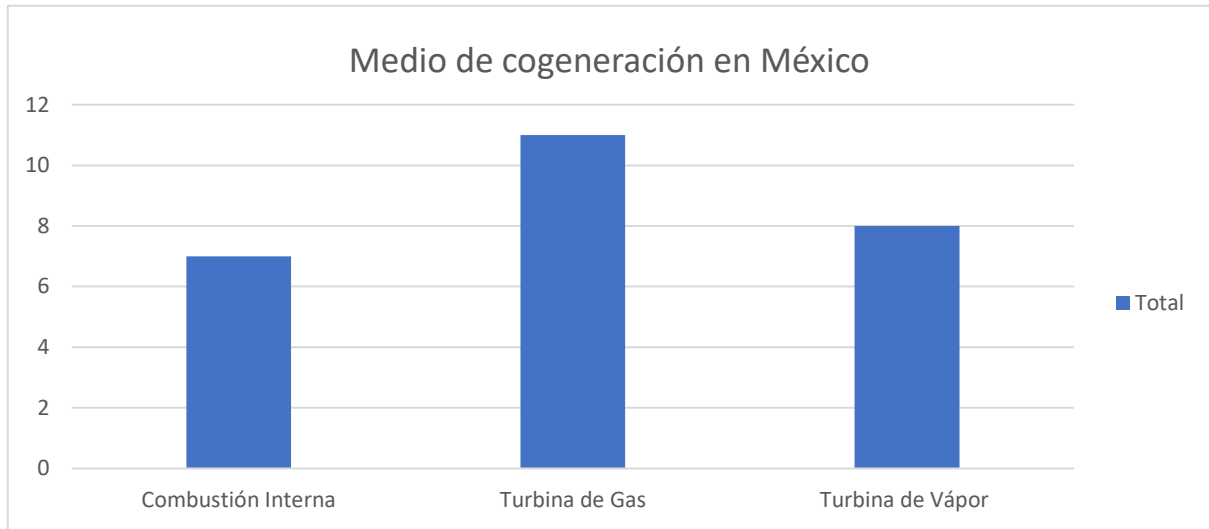


Ilustración 58: Medio de cogeneración en México

4.3 México cogenerador en el mundo

De acuerdo con la Agencia Internacional de la Energía (IEA siglas en inglés), la cogeneración a nivel internacional solo representa un 9% de la generación total de energía, por ello solo se considera como una alternativa para disminuir el efecto de invernadero y para aumentar la eficiencia energética. En la Ilustración 52: México cogenerador en el mundo, se puede apreciar que Dinamarca y Finlandia su utilización de cogeneración es mayor del 30%, mientras que en México apenas alcanza el 4%.

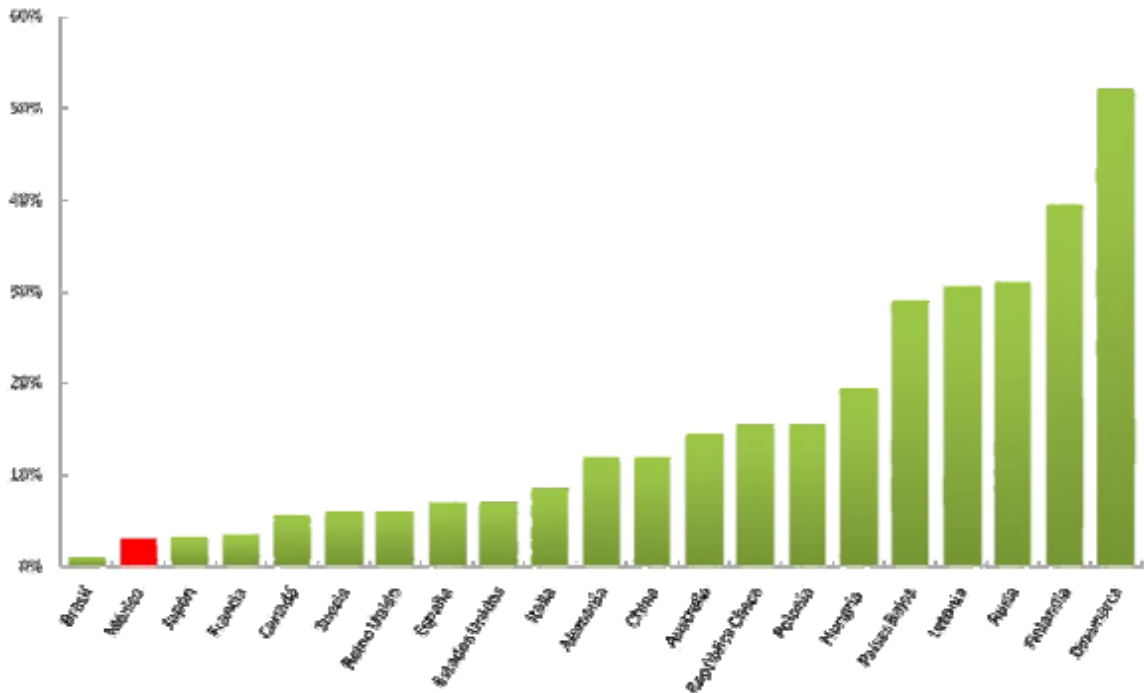


Ilustración 59: México cogenerador en el mundo

4.3.1 Líderes de la cogeneración mundial

En el sector industria azucarera Brasil es el país que posee mayor capacidad de cogeneración. Los ingenios azucareros de este país tienen la capacidad de incorporar a la red energía eléctrica extra de una manera exagerada. Por esta razón la instalación de la cogeneración provocó una capacidad instalada de 100 MW en el año 2000 a 3100 MW en 2008. Esto a pesar de que como se muestra en la Ilustración 55: México cogenerador en el mundo, tiene menos desarrollada la aplicación de la cogeneración en este país. [16]

Como se visualizó anteriormente Finlandia es uno de los líderes de la cogeneración, ya que se tiene dato que se logró suministrar el 29% de energía total usada. Su gran desarrollo se debe a la forestación por lo que usan residuos de fábricas de papel y

aserraderos. La planta Alholmens Kraft en Pietersaari tiene una capacidad térmica de 550 MW y una capacidad eléctrica de 265 MW. [16]

En el Aeropuerto Internacional de Shanghai Pudong, poseen un sistema de cogeneración el cual se basa en turbinas de gas de 4.6 MW. El sistema produce electricidad, calor y enfriamiento, lo cual suministra entre 20% y 15% de la demanda total de electricidad.

4.4 Marco normativo aplicable a la cogeneración

Dentro de la Constitución Política de los Estados Unidos:

En el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece: “Corresponde exclusivamente a la nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la nación aprovechara los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines”.

En el Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE):

El 31 de marzo de 1993 se publicó en el Diario Oficial de La Federación el Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, el cual fue modificado en mayo de 1993 y julio de 1997. Los aspectos relevantes del Reglamento de la LSPEE, relacionados con la cogeneración:

Como se mencionaba en capítulos anteriores en el artículo 103, dispuesto en el artículo 36, fracción II, de la Ley, se define como 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

En el artículo 106 establece que se podrán otorgar 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 acompañaran con copia certificada del convenio celebrado al respecto o el instrumento en que consiste la sociedad que hubieren constituido para llevar a cabo el proyecto”.

En el artículo 104, manifiesta los requisitos para la obtención y aprovechamiento de un permiso de cogeneración:

- “La electricidad generada se destine a la satisfacción de las necesidades de los establecimientos asociados a la cogeneración, entendidos por tales, las personas físicas o morales que:
 - I. Utilizan o producen el vapor, la energía térmica o los combustibles que dan lugar a los procesos base de la cogeneración,
 - II. Sean copropietarios de las instalaciones o socios de la sociedad de que se trate,
- 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.”

En el artículo 105 hace mención al estudio de instalaciones que se debe de presentar para un permiso de cogeneración, incluyendo requisitos como diagramas generales del proceso, disponibilidad de excedentes de potencia y energía eléctrica esperada.

En los artículos 73 y 154 al 158 se establece la posibilidad de transmisión en la red del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

En el artículo 72 describe los fines a los cuales se puede vender energía eléctrica como:

- Consumo de los mismos particulares
- Uso en emergencias derivadas de interrupciones en el servicio público de energía eléctrica
- Para exportar e importar esta última para uso exclusivo de los importadores de la misma

Por el contrario el artículo 90 instaura la prohibición de vender o revender energía eléctrica a terceros.

Dentro de la Ley de Transición Energética:

En el artículo 15 fracción faculta a la CRE para expedir las Normas Oficiales en materia de energías limpias y de Cogeneración Eficiente.

En el artículo décimo sexto fracción IV hace menciones que la cogeneración considerara Energía Limpia a la generación neta de electricidad por encima de la mínima requerida para que la central califique como cogeneración eficiente en términos de la regulación que al efecto expida la CRE. La generación eléctrica mediante ciclos combinados no podrá considerarse como cogeneración eficiente.

En la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE):

Es la generación de energía eléctrica, conforme a lo establecido en la LSPEE, siempre que el proceso tenga la eficiencia superior a la mínima requerida, esclarece:

- Metodología para el cálculo de la eficiencia de los sistemas de cogeneración de energía eléctrica y los criterios para determinar la cogeneración eficiente, DOF 22/02/2011
- Disposiciones generales para acreditar sistemas de cogeneración como de cogeneración eficiente, DOF 26/09/2012
- Modificación a Metodología para el cálculo de la eficiencia de los sistemas de cogeneración de energía eléctrica, DOF 12/06/2014

4.5 Barreras que impiden el desarrollo de la cogeneración

A pesar de que son muchos los beneficios anteriormente mencionados de la implementación de la cogeneración, existen varios factores que han impedido gozar de estas ventajas:

- I. Existe incertidumbre y variabilidad en los costos de los energéticos
- II. Dificultad para el desarrollo de trámites
- III. Limitadas fuentes de financiamiento
- IV. Falta de conocimiento de la tecnología
- V. Avances en los marcos legales
- VI. Ampliación de la red de gas natural (GN), ya que es la opción más accesible para obtener energía limpia.



Ilustración 60: Red de gas natural México

Cuando una empresa decide utilizar gas natural, evidentemente debe de conectarse a un gasoducto, sin embargo, si la empresa consume cierta cantidad de gas y debe de conectarse al gasoducto que está a un kilómetro, ya no le va a convenir ya que pagara mas por el uso de gasoducto que por el combustible que esta utilizando. Como se muestra en la Ilustración 57: Red de gas natural en México, las líneas color rojo nos hacen mención a nuevos proyectos, pero aun así se visualiza el mapa muy escaso de rutas de gas.

De acuerdo a Índices de Referencia de Precios de Gas Natural hasta 2020 el gas natural esta debajo de los cuatro dólares, sigue siendo un precio bajo, sin embargo, debe de ampliarse la Red de gas natural para extender sus fronteras.

Por ello, se requiere consolidar la apertura del mercado de transporte, impulsar reformas legales, revisar el sistema tarifario actual y lidiar con problemas que se presenten a nivel municipal.

VII. Falta de difusión de cogeneración

Incentivos para modernizar plantas de cogeneración ya existentes

- VIII. En México en la Ley del Impuesto Sobre la Renta (LISR), en el artículo 40, fracción XII, se establece un incentivo fiscal del “100% para maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables o de sistemas de cogeneración de electricidad eficiente”, esto puede representar ventajas en los proyectos, pero se basa en la depreciación para permitir reducir el costo del ISR, así que se requiere especificar el porcentaje de depreciación al 100% de los proyectos de cogeneración durante el primer ejercicio fiscal
- IX. Existe y prevalece una dependencia de fuentes fósiles, de acuerdo a la Iniciativa para el Desarrollo de las Energías Renovables en México, hasta el 2010 el 80% representa el uso de combustibles fósiles, mientras que el 20% proviene de otras tecnologías

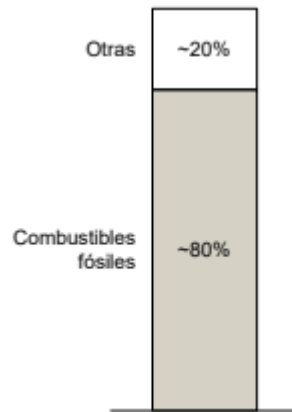


Ilustración 61: Dependencia de fuentes fósiles

- X. Anteriormente se mencionaba financiamientos, sin embargo, existe dificultad para poder acceder a ellos
- XI. Alto costo de permisos de interconexión, así como requerimientos excesivos alejados de los proyectos, en México el procedimiento es el siguiente:

Pasos para la interconexión con el SEN:

1. Presentar ante la CFE una solicitud para interconexión al sistema (Trámite: CFE-00- 003-A). El proceso desde que se presenta la solicitud hasta la firma del Contrato toma 90 días naturales.

2. Con base en la solicitud, la CFE realizará un estudio de factibilidad del proyecto de interconexión y entregará una notificación con los resultados del estudio por escrito, indicando los requerimientos técnicos para la interconexión.

3. Presentar ante CFE para su aprobación, la Ingeniería Básica del proyecto.

4. CFE otorga la Autorización de Ingeniería básica en un plazo de 20 días hábiles.

5. Firmar el Contrato de Interconexión para sistemas de cogeneración en pequeña o mediana escala según sea el caso.

6. CFE instala los medidores y equipos de medición para medir la energía entregada por el Generador a CFE y la que entregue CFE al Generador.

El proceso desde que se presenta la solicitud de contrato de interconexión ante CFE hasta la firma del Contrato toma 90 días naturales. La vigencia del contrato de interconexión es indefinida.

Y si consideramos que se debe de tener un permiso por la CRE (proyecto mayor a 0.5 MW):

- I. Solicitud de permiso de cogeneración Unidad administrativa que resuelve: Dirección General de Otorgamiento de Permisos y Registros de Electricidad. La documentación necesaria se presenta en la Ventanilla de Oficialía de Partes de la CRE.

- II. Solicitud de contrato de interconexión Unidad Administrativa responsable:
Subdirección de Programación. Responsable para consultas o quejas:
Subgerente de Evaluación de Proyectos de la CFE

Con esto, se da paso para la interconexión con el SEN:

Previo a la solicitud formal de contrato de interconexión con la CFE

1. La CFE entrega el Reporte del estudio de pre-factibilidad en un plazo de hasta 60 días hábiles, dependiendo del tamaño del proyecto.
2. En caso de que el sistema de cogeneración no corresponda a fuente de energía renovable y requiera hacer uso del SEN para portear energía a sus puntos de carga, es necesario presentar ante la CFE la solicitud para el correspondiente estudio de porteo para determinar el costo de transmisión de la energía eléctrica entre la fuente y los puntos de carga. La CFE entrega el resultado del estudio de porteo en un plazo de 45 días hábiles.
3. Presentar ante la CFE una Solicitud de Servicios de Transmisión para iniciar las gestiones hacia la firma del contrato de interconexión y convenios asociados.
4. Con base en la Solicitud de Servicios de transmisión, la CFE realiza un estudio de factibilidad con un tiempo de respuesta de hasta 60 días hábiles, dependiendo del tamaño del proyecto, y entrega el resultado del Estudio de Factibilidad.
5. Solicitar el permiso generación de energía eléctrica bajo la modalidad de Cogeneración de energía eléctrica ante la CRE. Para estos efectos, el solicitante deberá entregar el formato correspondiente debidamente requisitado, así como la documentación que en el mismo se solicita.

6. Si la solicitud de permiso se entrega debidamente requisitada y se cumple con la presentación de la documentación solicitada completa, la CRE otorga el Título del Permiso de Cogeneración de energía eléctrica en un plazo de 50 días hábiles después de admitir a trámite la solicitud de permiso (integración del expediente de solicitud).
 7. Dado el caso que el permisionario quiera solicitar la acreditación de cogeneración Eficiente a la CRE, se debe de realizar lo ya mencionado.
 8. Presentar ante la CFE para su aprobación, la Ingeniería Básica del proyecto.
 9. La CFE otorga la Autorización de Ingeniería básica en un plazo de 20 días hábiles.
 10. Presentar ante la Subdirección de Programación de la CFE la solicitud de Contrato de Interconexión al SEN (Trámite CFE-00-003-A). El proceso toma 90 días naturales.
 11. Firma del Contrato de Interconexión y sus convenios asociados, correspondientes, esto es en función de si se trata de una fuente renovable³¹ o no renovable.
 12. Los sistemas de cogeneración que sean acreditados como de cogeneración eficiente por la CRE, pueden firmar el contrato de interconexión para fuentes renovables con la CFE, incluyendo los Anexos correspondientes, el Convenio de Instalaciones y Cesión (se solicita directamente con la CFE) y, en su caso, el correspondiente Convenio de Servicios de Transmisión
- III. Desconocimiento de los beneficios económicos y ambientales

4.6 Perspectivas y ventajas de la cogeneración

Anteriormente se mencionaban las barreras que han impedido el desarrollo de la cogeneración, por ello, las siguientes son medidas que se han tomado en México:

- Fijación de estándares y requisitos técnicos para la interconexión a la red dependiendo de las características del proyecto
- Se enfatizan los programas de información y concientización de los distintos agentes acerca de las ventajas que conlleva la implementación de la cogeneración.
- Pemex estableció una estrategia para optimizar el uso de la energía eléctrica, junto con un programa de inversiones de proyectos de cogeneración, de 2012 al 2020 [15], en el cual se espera implementar hasta un 53% la capacidad proveniente de centrales de cogeneración.

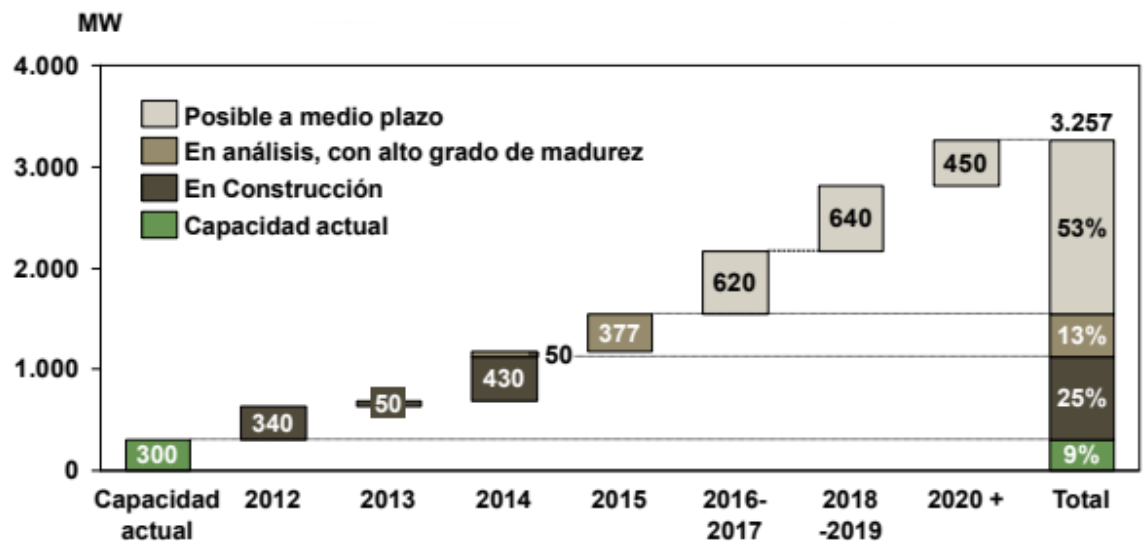


Ilustración 62: Desarrollo de proyectos PEMEX

- Se ha propuesto una metodología para la remuneración de excedentes

- Participación privada en proyectos de Pemex
- Planes de comunicación y proyectos pilotos para eliminar barreras culturales



Ilustración 63: Planes de comunicación

- En la Ilustración 62: Planes de comunicación podría ser un ejemplo de la manera en que se puede implementar la presentación de un caso de éxito para el impulso de mas proyectos de cogeneración. En España en el año 2008 se realizo algo parecido a esta dinámica, la empresa Gas Natural Fenosa acordó con la empresa Calefacción Roca un proyecto piloto donde se pudiera demostrar la viabilidad de la cogeneración. [16]
- Al incrementar los proyectos de cogeneración, la potencia instalada aumentaría con lo cual, se podría desarrollar la fabricación de componentes a nivel nacional
- Disminución en los costos de las facturas eléctricas

- Abrir paso a nuevas inversiones nacionales y extranjeras
- Ofrece flexibilidad en cuanto a variables climáticas y horarias
- En cuanto al SEN, el mayor desarrollo de la cogeneración evitará instalar más plantas, por lo tanto, evitará un mayor margen de planeación del mismo
- Mayor confiabilidad al SEN
- 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
- De acuerdo al Estudio sobre Cogeneración en el Sector Industrial en México (2009), la cogeneración permitiría capturar el 7% de emisiones de CO₂

De las barreras mencionadas, se han tenido los siguientes resultados:

Nuevas Medidas	Resultados
<ol style="list-style-type: none"> 1. Modificación de la metodología de contraprestaciones de excedentes por parte de CFE 2. Estandarización y facilitación de los procesos de interconexión 3. Impulso de la participación privada en los proyectos de cogeneración de PEMEX 4. Desarrollo de la red de transporte y distribución de gas natural 5. Impulso de medidas de apoyo a la financiación 6. Elaboración de un plan de comunicación 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Incremento del PIB de 300,000 MDP ✓ Incremento de la recaudación fiscal en 25,000 MDP ✓ Generación de más de 47.000 empleos ✓ Reducción de 18MTCO₂ emisiones de CO₂ a 2020 ✓ Reducción del riesgo de deslocalización de empresas industriales ✓ Aportaría firmeza a la red eléctrica y reducción de pérdidas

La potencia instalada de cogeneración en México, ha crecido anualmente al 10% durante los diez últimos años, sin embargo, solo hasta el 2010 se capturo el 28% de su potencial.

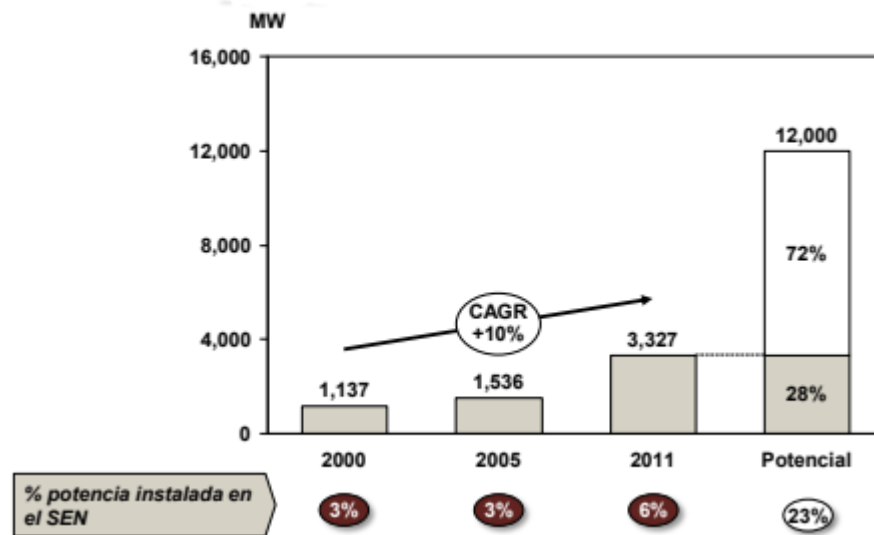


Ilustración 64: Potencia en México cogeneración

En su efecto en el la Ley de Transición Energética como meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del 25% para el año 2018, del 30% para 2021 y del 35% para 2024, de acuerdo con el ordenamiento legal publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de diciembre de 2015.

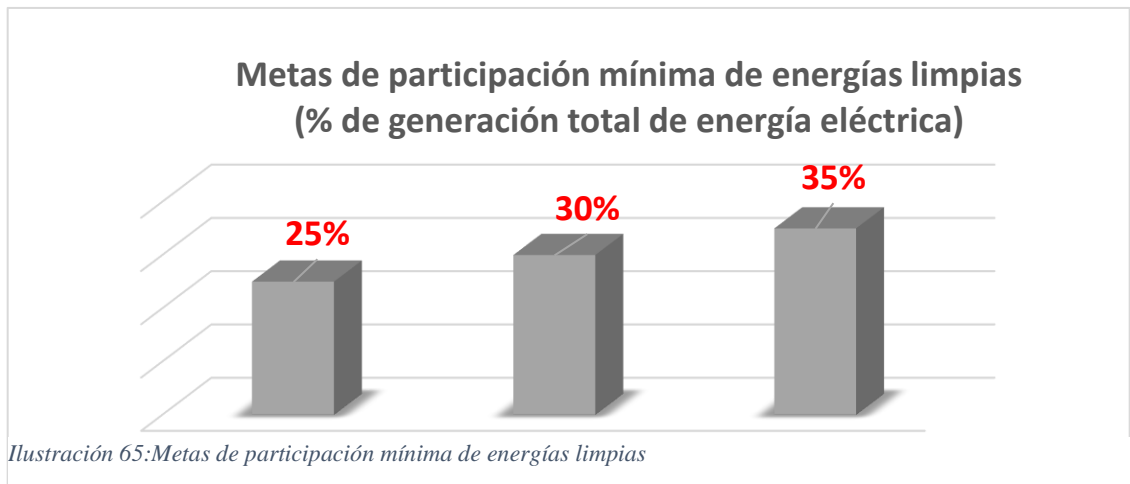


Ilustración 65: Metas de participación mínima de energías limpias

V. Conclusiones

Se realizó la investigación de los componentes principales de un Sistema Eléctrico de Potencia, para tener el fundamento del funcionamiento básico del mismo, así de su conformación en México y se identificaron factores que afectan su funcionamiento.

Se estudió los cambios institucionales y regulatorios que sufrió el sector eléctrico tras la publicación de la Reforma Energética en 2013, en conjunto con los conceptos que involucran al Mercado Eléctrico Mayorista y su relación con la cogeneración de energía.

Se analizó el marco legal vigente aplicable al Sistema Eléctrico Nacional y a la cogeneración de energía, para evaluar la situación actual.

Se estudio y se hizo un ejemplo del calculo que se realiza para obtener la certificación de Cogeneración Eficiente, para conocer los requisitos de la misma.

Se estudió los conceptos termodinámicos para tener una referencia clara en cuanto a funcionamiento de las centrales de cogeneración.

Se analizó las diferentes maquinas mas usadas para la cogeneración y se identificaron sus variantes, así como las industrias que las utilizan, para conocer el panorama y apreciar sus diferentes usos.

Se indagó sobre el impacto ambiental que conlleva una planta de cogeneración, las emisiones relacionadas y sus términos generales, con el fin de proporcionar un panorama básico.

Se investigó las variantes de la cogeneración, la trigeneración y la cuatrigeneración para establecer sus funcionamientos y beneficios.

Se estudió las ventajas que conlleva la implementación de la cogeneración, tomando en cuenta estudios gubernamentales realizados anteriormente.

Se analizó la perspectiva actual de la cogeneración en México y el mundo, se identificaron principales sectores cogeneradores en el país, así como la localización de algunas de estas, para tener una idea del desarrollo e implementación de cogeneración del país.

Se identificó las barreas que han impedido el desarrollo de la cogeneración en México, para conocer sus causas y como se involucraba las entidades del sector

energético en la posible solución de ellas. Así mismo, sus ventajas y como se han involucrado estas identidades para fomentar el uso de la cogeneración.

La cogeneración contribuye directamente al cambio climático, eficiencia energética y viabilidad de costos operativos. Después de este estudio se concluye que la inversión energética debería de ser un asunto de prioridad, ya que el desarrollo de una sociedad se ve reflejada en su sistema eléctrico.

En las industrias donde existe potencial para cogeneración, deberían implementar departamentos que se dediquen a la mejora de energética.

Las autoridades del sector eléctrico promuevan casos de éxito tras la implementación de cogeneración.

El Gobierno Federal debería trazar estrategias para incentivar la infraestructura de gas natural para que el suministro sea continuo y seguro.

Referencias

- [1] B. Jimenez, La contaminación ambiental en México, Ciudad de México: LIMUSA, 2001.
- [2] P. Osnaya, Cambio Climático una visión desde México, Ciudad de México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales , 2004.
- [3] SEMARNAT , «Informe de la situación del medio ambiente en México 2018,» SEMARNAT, México, 2019.
- [4] Á. Morrillo, Artist, *Estudio para la implantación de un equipo de microgeneración en el sector residencial*. [Art]. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía, 2016.
- [5] Cogenera México, «Potencial competitivo de la cogeneración y beneficios de su desarrollo,» PWC, Ciudad de México, 2012.
- [6] A. D. Á. Hernandez, Artist, *Transmisión de energía eléctrica*. [Art]. Tecnológico de Monterrey, 2019.
- [7] J. Viqueira Landa, Redes Electrica Tomo I, Ciudad de México: Facultad de Ingeniería , 2010.
- [8] A. A. D. Vega, «Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería - UNAM,» 4 Mayo 2012. [En línea]. Available: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/704>. [Último acceso: 1 noviembre 2019].
- [9] G. J. Duncan, Sistemas de potencia análisis y diseño, Ciudad de México: Thomson Learning, 2014, pp. 71-111.
- [10] Escuela de Quimica, Universidad Nacional, «Hoja de seguridad Cobre MSDS,» Costa Rica, 2016.
- [11] G. Enríquez Harper, Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tension, Ciudad de México , 2005, pp. 52-55.
- [12] F. Weston Sears y R. Freedman, Fisica Universitaria, volumen 2, Ciudad de México: Pearson Educación, 2005, pp. 914-917.
- [13] C. Carlos y H. Ricardo, «Universidad de Chile CEC,» 1 Enero 2016. [En línea]. Available: https://www.cec.uchile.cl/~roroman/pag_2/ENTROPIA.HTM. [Último acceso: 15 Febrero 2020].
- [14] E. Rivera, «Facultad Nacional de Ingenieria,» 26 Octubre 2015. [En línea]. Available: http://eribera_bo.tripod.com/index.html. [Último acceso: 09 Febrero 2020].
- [15] M. Villares Martín, Cogeneración 2da. Edición, Madrid: Fundación CONFEMETAL, 2009.
- [16] Plantas de cogeneración, «Elementos de una planta de cogeneración,» Renovotec Tecnología, 01 Enero 2013. [En línea]. Available: <http://www.plantasdecogeneracion.com/index.php/las-plantas-de-cogeneracion>. [Último acceso: 15 Abril 2020].

- [17] COGEN España , «Guía de la cogneración,» de *Introducción sobre motores a gas*, Madrid, Gráficas Arias Montano, S. A. de C. V., 2010, p. 313.
- [18] X. Elías, «Tecnologías de cogeneración,» de *La recuperación de la energía: cogeneración, intercambiadores y regeneradores de calor*, Madrid, Días de Santos, 2012, p. 864.
- [19] D. Fraile, de *Cogeneración: Aspectos Tecnológicos*, Madrid, SGS, 2007, p. 129.
- [20] CONUEE, «Estudio sobre Cogeneración en el Sector Industrial en México,» de *Potencial de cogeneración en México*, Ciudad de México , SENER, 2012, p. 156.
- [21] Centro Mario Molina , «La Ruta de México Hacia una Economía Sustentable de Baja Intensidad de Carbono,» Centro Mario Molina , Ciudad de México, 2010.
- [23] CFE Transmisión, «Líneas Instaladas y Capacidad Instalada de Subestaciones de Transmisión y Distribución,» Enlace Institucional , México, 2019.
- [24] «Energía Solar,» 24 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://solar-energia.net/blog>. [Último acceso: 15 Febrero 2020].

Referencias de imágenes

Ilustración 1: Diagrama de organización SEP. Elaboración propia el 30 de octubre de 2019

Ilustración. 2: Funcionamiento de un transformador . Recuperada el 30 de octubre de 2019 de: www.eaton.mx > ecm > idcplg

Ilustración 3: Monofásico y trifásico. Recuperada el 2 de noviembre de 2019 de: <https://www.todoexpertos.com/preguntas/5wtslb5irs3ivx9j/que-es-trifasica-bifasica-y-monofasica-caracteristicas-ejemplos>

Ilustración 4: Conexión paralelo y serie. Recuperada el 3 de noviembre de 2019 de: bdigital.unal.edu.co/71/7/46_-_6_Capi_5.pdf

Ilustración 5: Conexión delta y estrella. Recuperada el 3 de noviembre de 2019 de: bdigital.unal.edu.co/71/7/46_-_6_Capi_5.pdf

Ilustración 6: Funcionamiento de un generador. Recuperada el 17 de noviembre de 2019 de: <https://books.google.com.mx/books?id=P62ebMavSIIC&printsec=frontcover&dq=generadores+electricos&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjO1tThyvLIAhUM16wKHZnXCL4Q6AEIKjAA#v=onepage&q=generadores%20electricos&f=true>

Ilustración 7: Regla de la mano derecha para generadores. Recuperada el 17 de noviembre de 2019 de: <http://generadoresdeca.blogspot.com/2009/08/regla-de-la-mano-derecha-para.html>

Ilustración 8: Mapa de la República Mexicana con regiones sísmicas. Recuperada del 17 de noviembre de 2019 de: <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/u/V5100-01.pdf>

Ilustración 9: Triángulo de potencia. Recuperada el 18 de noviembre de 2019 de : <https://telergia.blogs.com/telergia/2010/07/factor-de-potencia-y-mejoramiento-del-factor-de-potencia-1.html>

Ilustración 10: Zonas de control del SEN. Recuperada el 23 de noviembre de 2019 de: <https://www.gob.mx/sener/documentos/prodesen-2019-2033>

Ilustración 11: Consumo del SEN febrero 2018. Elaborada con datos abiertos del CENACE el 23 de septiembre de 2019 de: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/consumo-mensual-bruto-del-sistema-electrico-nacional>

Ilustración 12: Demanda 2018 en CDMX. Recuperada el 24 de noviembre de Pérez Castillo, J. (Mayo 2018). Gerencia de Transmisión Central, Código de Red, [Diapositivas de PowerPoint]

Ilustración 13: Mapa de red troncal de transmisión 2018. Recuperado el 24 de noviembre de 2019 de: <https://www.cenace.gob.mx/Docs/Planeacion/ProgramaRNT/Programa%20de%20Ampliaci%C3%B3n%20y%20Modernizaci%C3%B3n%20de%20la%20RNT%20y%20RGD%2019%20-%202033.pdf>

Ilustración 14: Capacidad Instalada por tipo de central. Elaborada con datos del PROSEDEN 2018-2032 página 18, el 24 de noviembre de 2019. <https://www.cenace.gob.mx/Docs/Planeacion/ProgramaRNT/Programa%20de%20Ampliaci%C3%B3n%20y%20Modernizaci%C3%B3n%20de%20la%20RNT%20y%20RGD%2019%20-%202033.pdf>

Ilustración 15: Enlaces internacionales del SEN . Recuperada el 24 de diciembre de 2019 de: <https://www.cenace.gob.mx/Docs/Planeacion/ProgramaRNT/Programa%20de%20Ampliaci%C3%B3n%20y%20Modernizaci%C3%B3n%20de%20la%20RNT%20y%20RGD%2019%20-%202033.pdf>

Ilustración 16: Actividades del sector eléctrico. Elaboración propia con imagenes png de: <https://www.flaticon.es/autores/edtim>. Recuperadas el 24 de diciembre de 2019

Ilustración 17: Crecimiento de la capacidad limpia y convencional 201-2018. Recuperada el 24 de diciembre de 2019 de Reporte de supervisión de permisos de generación e importación de energía eléctrica 2018 CRE.

Ilustración 18: Subastas de energía eléctrica. Recuperada el 25 de diciembre de 2019 de <http://energiahoj.com/2018/12/06/5-razones-para-que-sigan-las-subastas-electricas-en-mexico/>

Ilustración 19: Sistema Aislado. Elaboración propia el 05 de enero de 2020

Ilustración 20: Sistema Cerrado. Elaboración propia el 05 de enero de 2020

Ilustración 21: Sistema Abierto. Elaboración propia el 05 de enero de 2020

Ilustración 22: Proceso termodinámico. Elaboración propia el 17 de enero de 2020

Ilustración 23: Ciclo Rankine, Elaboración propia el 08 de enero de 2020

Ilustración 24: Gráfica de Ciclo Rankine. Recuperada el 09 de enero de 2020 de: https://fbancoff.files.wordpress.com/2017/07/p38_3.gif

Ilustración 25: Ciclo Otto. Recuperada el 09 de enero de 2020 de: <https://comofunciona.co/el-ciclo-otto/>

Ilustración 26: Gráfico Ciclo Otto. Recuperada el 10 de enero de 2020 de: Villares, M. . (2003). Cogeneración . Madrid, España: Fundación Confemetal

Ilustración 27: Ciclo Miller vs Ciclo Otto, Recuperada el 10 de enero de 2020 de: <https://motorgiga.com/el-automovil-a-fondo/ciclo-atkinson-vs-ciclo-miller-vs-ciclo-otto/gmx-niv199-con463814.htm?npc=3>

Ilustración 28: Ciclo Brayton. Recuperada el 11 de enero de 2020 de: <https://sites.google.com/site/aleblogtecnic/home/2-electronica/ciclo-brayton?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>

Ilustración 29: Gráfica Ciclo Brayton. Recuerda el 11 de enero de 2020 de: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Diagrama-P-V-de-un-ciclo-Brayton_fig2_256845726

Ilustración 30: Cogeneración definición I. Recuperada el 12 de enero de 2020 de: CRE, (Abril de 2012). Fomento de la cogeneración en México. [Diapositivas de PowerPoint]

Ilustración 31: Cogeneración definición II. Recuperada el 12 de enero de 2020 de: CRE, (Abril de 2012). Fomento de la cogeneración en México. [Diapositivas de PowerPoint]

Ilustración 32: Cogeneración definición III. Recuperada el 12 de enero de 2020 de: CRE, (Abril de 2012). Fomento de la cogeneración en México. [Diapositivas de PowerPoint]

2

Ilustración 33: Cogeneración con un motor alternativo. Recuperada el 23 de febrero de 2020 de: Álvarez, F, & Casanova F.. (2002). Máquinas térmicas motoras. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya

Ilustración 34: Diseño tradicional. Recuperada el 23 de febrero de 2020 de: Fraile, D. & COGEN España. (2010). Guía de la cogeneración. Madrid : Gráficas Arias Montano, S. A. de C. V.

Ta

Ilustración 35: Emisiones contaminantes del gas natural. Recuperada el 07 de marzo de 2020 de: <https://www.nedgia.es/conocenos/caracteristicas-del-gas-natural/>

Ilustración 36: Ciclo combinado con motor alternativo. Recuperada el 09 de marzo de 2020 de: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45276/componente45275.pdf

Ilustración 37: Turbina de gas. Recuperada el 09 de marzo de 2020 de: <https://elmaquinante.blogspot.com/2019/02/turborreactores-introduccion.html>

Ilustración 38: Cogeneración con turbina de gas. Recuperada el 09 de marzo de: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45276/componente45275.pdf

Ilustración 39: Turbina de gas de ciclo abierto. Recuperada el 09 de marzo de 2020 de: http://opex-energy.com/ciclos/ciclo_brayton.html

Ilustración 40: Turbina de gas de ciclo cerrado. Recuperada el 09 de marzo de 2020 de: http://opex-energy.com/ciclos/ciclo_brayton.html

Ilustración 41: Cogeneración con turbina de vapor. Recuperada el 16 de marzo de 2020 de: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45276/componente45275.pdf

Ilustración 42: Cogeneración en ciclo combinado con turbina de gas. Recuperada el 16 de marzo de 2020 de: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45276/componente45275.pdf

Ilustración 43: Sistema superior e inferior. Recuperada el 15 de abril de 2020 de: <http://www.cogeneramexico.org.mx/menu.php?m=76>

Ilustración 44: Trigeneración de energía. Recuperada el 16 de marzo de 2020 de: <https://energia12.com/2013/02/01/trigeneracion-con-biogas/>

Ilustración 45: Configuración de una planta de trigeneración. Recuperada el 16 de marzo de 2020 de: <https://www.absorsistem.com/tecnologia/cogeneracion/principio-de-la-trigeneracion>

Ilustración 46: Tetrageneración. Recuperada el 21 de marzo de 2020 de: <https://pangea.stanford.edu/ERE/db/WGC/papers/WGC/2020/34007.pdf>

Ilustración 47: Costos de abatimiento de GEI en México. Recuperada el 21 de marzo de 2020 de: Secretaría de Energía. (2017). Iniciativa para el desarrollo de las Energías Renovables en México. Ciudad de México: PWC

Ilustración 48: Potencial de la cogeneración de energía. Recuperada el 21 de marzo de 2020 de: Secretaría de Energía. (2017). Iniciativa para el desarrollo de las Energías Renovables en México. Ciudad de México: PWC

Ilustración 49: Impacto en el PIB tras la implementación de la cogeneración, Recuperada el 21 de marzo de 2020 de: Secretaría de Energía. (2017). Iniciativa para el desarrollo de las Energías Renovables en México. Ciudad de México: PWC

Ilustración 50: Demanda de energía en horarios facturables. Recuperada el 21 de marzo de 2020 de: RE, (Abril de 2012). Fomento de la cogeneración en México. [Diapositivas de PowerPoint]

Ilustración 51: Sistema convencional vs cogeneración. Recuperada el 6 de junio de 2020 de:

https://electriz.com.mx/cogeneracion-2/?gclid=Cj0KCQjw_ez2BRCyARIsAJfg-kszCvUyyvmwRhVNSvvgHMWARMPUZnUCF8s7QR2ZFD-yWjTRSyg4I4UaAsS1EALw_wcB

Ilustración 52: Potencial de la cogeneración en México 2007. Elaboración propia con datos del Estudio sobre la cogeneración en el Sector Industrial en México. El 11 de abril de 2020

Ilustración 53: Sectores con mayor potencial de cogeneración. Recuperada el 05 de mayo de 2020 de: Secretaría de Energía. (2017). Iniciativa para el desarrollo de las Energías Renovables en México. Ciudad de México: PWC

Ilustración 54: Capacidad de ingenios azucareros. Recuperada el 05 de mayo de 2020 de: Secretaría de Energía. (2017). Iniciativa para el desarrollo de las Energías Renovables en México. Ciudad de México: PWC

Ilustración 55: Centrales de cogeneración por Estado. Elaboración propia con datos de Tabla de Permisos de generación e Importación de energía eléctrica administrados al 31 de enero de 2020. El 17 de abril de 2020.

Ilustración 56: Cantidad de centrales por Estado. Elaboración propia con datos de Tabla de Permisos de generación e Importación de energía eléctrica administrados al 31 de enero de 2020. El 17 de abril de 2020.

Ilustración 57: Cogeneradores eficientes en el país. Recuperada el 26 de abril de 2020 de: Taller Regional CONUEE, (2018). Capacidad y generación en centrales de cogeneración eficiente 2017. [Diapositivas de PowerPoint]

Ilustración 58: Medio de cogeneración en México. Elaboración propia con datos de Tabla de Permisos de generación e Importación de energía eléctrica administrados al 31 de enero de 2020. El 17 de abril de 2020.

Ilustración 59: México cogenerador en el mundo. Recuperada el 16 de abril de 2020 de: https://transparencia.energia.gob.mx/estudios_opiniones/archivos/CAP%20I-III.pdf

Ilustración 60: Red de gas natural México. Recuperada el 17 de abril de 2020 de: https://issuu.com/ignaciomartinezhernandez7/docs/revista_5/67

Ilustración 61: Dependencia de fuentes fósiles. Recuperada el 05 de mayo de 2020 de: Secretaría de Energía. (2017). Iniciativa para el desarrollo de las Energías Renovables en México. Ciudad de México: PWC

Ilustración 62: Desarrollo de proyectos PEMEX. Recuperada el 05 de mayo de 2020 de: Secretaría de Energía. (2017). Iniciativa para el desarrollo de las Energías Renovables en México. Ciudad de México: PWC

Ilustración 63: Planes de comunicación Elaboración propia el 05 de mayo de 2020 de: con datos de Secretaría de Energía. (2017). Iniciativa para el desarrollo de las Energías Renovables en México. Ciudad de México: PWC

Ilustración 64: Potencia en México cogeneración. Recuperada el 05 de mayo de 2020 de: Secretaría de Energía. (2017). Iniciativa para el desarrollo de las Energías Renovables en México. Ciudad de México: PWC

Ilustración 65: Metas de participación. Recuperada el 05 de mayo de 2020 de: RE, (Abril de 2012). Fomento de la cogeneración en México. [Diapositivas de PowerPoint]

