



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**“ANÁLISIS ENERGÉTICO EN UNA
TERMOELÉCTRICA”**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Presenta:

JOSÉ ADAIR CRUZ BÉJAR

Asesor de tesis:

DR. GILBERTO GONZÁLEZ AVALOS



MORELIA, MICHOACÁN, OCTUBRE DE 2019

Agradecimientos

Quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible el desarrollo de este trabajo y con ello la conclusión de mi carrera como ingeniero electricista. A todas las personas que dedicaron su tiempo y esfuerzo para impartirme el conocimiento y las habilidades necesarias para el desarrollo de la misma ya las personas que me apoyaron durante este periodo de mi vida. Agradezco especialmente al Dr. Gilberto Gonzales Ávalos por asesorarme en ésta tesis. También agradezco a la universidad por impartirme una educación de calidad en todo momento y hacer posible que yo y otros miles de jóvenes cumplan su sueño de terminar una carrera. Y finalmente agradezco al lector por tomarse el tiempo de leer esta tesis.

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres por su ejemplo de dedicación y responsabilidad, además de su total apoyo durante mi tiempo en la universidad; a mis familiares y amigos que siempre han estado ahí para ayudarme en los momentos que necesite ayuda, y para guiarme en los momentos en que me encontraba perdido y a mis profesores que me impartieron los conocimientos necesarios para poder desarrollar este trabajo.

Índice

Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria	iii
Índice	iv
Resumen	vi
Palabras clave	vi
Abstract	vii
Keywords	vii
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas	x
Glosario de términos	xi
Capítulo1 Introducción	1
1.1 Balance de energía	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Justificación	2
1.4 Metodología	2
1.5 Contenido de tesis	2
Capítulo 2 Antecedentes de las centrales Eléctricas	4
2.1 Introducción.....	4
2.2 Centrales de Generación con Fuentes No Renovables	13
2.2.1 Ciclo combinado.	13
2.2.2 Termoeléctrica Convencional.....	16
2.2.3 Carboeléctricas	19
2.2.4 Lecho Fluidizado	20
2.2.5 Turbogás	21
2.2.6 Combustión Interna.....	25
2.2.7 Nucleoeléctrica	31
2.3 Centrales de Generación con Fuentes Renovables	32
2.3.1 Hidroeléctrica	33
2.3.2 Eólica.....	36
2.3.3 Geotérmica	38

2.3.4 Solar	40
2.3.5 Bioenergía	42
2.3.6 Cogeneración Eficiente	45
Capítulo 3 Centrales Termoeléctricas.....	48
3.1 Introducción.....	48
3.2 Elementos de una Central Termoeléctrica	48
3.2.1 Generador de Vapor	50
3.2.2 Turbina de Vapor	51
3.2.3 Condensador.....	52
3.3 Termoeléctrica Convencional.....	54
3.4 Termoeléctrica con Recalentamiento	55
3.5 Termoeléctrica con una Etapa Regenerativa	57
Capítulo 4 Balance Energético de una Termoeléctrica	59
4.1 Balance Energético con Ciclo Rankine Simple	59
4.2 Balance Energético con Ciclo Rankine con Recalentamiento.	66
4.3 Balance Energético con Ciclo Rankine Regenerativo	69
Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones	72
5.1 Conclusiones.....	72
5.2 Recomendaciones.....	73
Bibliografía.....	74

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño de una central termoeléctrica en tres de sus configuraciones que son una termoeléctrica convencional, con recalentamiento y con una etapa de recalentamiento con una etapa regenerativa, las cuales analizaremos las potencias en cada parte de la central, las tres configuraciones tendrán las mismas condiciones para su análisis.

Para luego hacer un análisis comparativo para obtener las potencias, eficiencias de cada una y así ver las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

Palabras clave

Entropía, Entalpia, Potencia, Eficiencia, Vapor, Ciclo Térmico, Central Eléctrica, Generador, combustible

Abstract

This paper presents the design of a thermoelectric power plant in three of its configurations that are a conventional thermoelectric, with overheating and with a reheating stage with a regenerative stage, which we will analyze the powers in each part of the power plant, the three configurations They will have the same conditions for analysis.

To then make a comparative analysis to obtain the powers, efficiencies of each one and thus see the advantages and disadvantages of each of them.

Keywords

Entropy, Enthalpy, Power, Efficiency, Steam, Thermal Cycle, Power Plant, Generator, fuel

Lista de figuras

Figura 2.1 Capacidad Instalada.	6
Figura 2.2 Capacidad Instalada Por Tipo De Tecnología en 2017.	6
Figura 2.3 Evolución De La Capacidad Instalada Por Tipo De Tecnología.....	8
Figura 2.4 Generación De Energía Electrica.....	8
Figura 2.5 Generación De Energía Electrica Por Tipo De tecnología en 2017	9
Figura 2.6 Evolución De La Generación Bruta Por Tipo De Tecnología.	10
Figura 2.7 Generación de Energía Electrica por Entidad Federativa en 2017.	11
Figura 2.8 Balance de Energía Electrica por Entidad Federativa en 2017.	13
Figura 2. 9 Capacidad y Generación en Centrales de Ciclo Combinado en 2017.	14
Figura 2.10 Capacidad y Generación en Centrales Termoeléctricas Convencionales en 2017.....	17
Figura 2.11 Capacidad y Generación de Centrales Carboeléctricas y lecho Fluidizado en 2017.....	20
Figura 2. 12 Capacidad y Generación de Centrales Turbogás en 2017.....	21
Figura 2. 13 Capacidad y Generación en Centrales de Combustión Interna en 2017.	25
Figura 2. 14 Capacidad y Generación en Centrales Nucleoeléctricas en 2017.....	31
Figura 2. 15 Capacidad y Generación en Centrales Hidroeléctricas en 2017.	33
Figura 2. 16 Cuencas de las Regiones Hidrológicas Administrativas.	35
Figura 2. 17 Capacidad y Generación en Centrales eólicas en 2017.	37
Figura 2. 18 Capacidad y Generación en Centrales Geotermoeléctricas en 2017.	39
Figura 2. 19 Permisos y Concesiones Otorgados en Geotermia.	40
Figura 2. 20 Capacidad y Generación en Centrales de Generación Solar en 2017.....	41
Figura 2. 21 Capacidad y Generación en Centrales de Bioenergía en 2017.	43
Figura 2. 22 Capacidad y Generación en Centrales de Cogeneración Eficiente en 2017. ...	46
Figura 3. 1 Diagrama de Central Termoeléctrica.	49
Figura 3. 2 Generador de Vapor.....	51
Figura 3. 3 Turbina de Vapor.....	52
Figura 3. 4 Condensador	54
Figura 3. 5 Ciclo Rankine Ideal	54
Figura 3. 6 Ciclo Rankine con Recalentamiento.....	56
Figura 3. 7 Ciclo Rankine con Más de Dos Etapas de Recalentamiento.	56
Figura 3. 8 Ciclo Rankine con Etapa Regenerativa.....	57
Figura 4. 1 Diagrama de Ciclo Combinado, utilizado en la Central de Tula.	59
Figura 4. 2 Diagrama del Ciclo Rankine ideal.	60

Figura 4. 3 Diagrama de Potencias del ciclo Rankine ideal.	65
Figura 4. 4 Diagrama del Ciclo Rankine con Recalentamiento.	66
Figura 4. 5 Diagrama de Potencias con Recalentamiento.	68
Figura 4.6 Diagrama del Ciclo Rankine, un paso de recalentamiento y un paso regenerativo.	69
Figura 4.7 Diagrama de Potencias con un paso de recalentamiento y un paso regenerativo.	71

Lista de tablas

Tabla 2.1 Capacidad Eléctrica Instalada en México en 1889.	4
Tabla 2.2 Capacidad Instalada Por Tipo De Tecnología.	7
Tabla 2.3 Generación De Energía Eléctrica.	9
Tabla 2.4 Generación de Energía Eléctrica por Modalidad en 2017.	10
Tabla 2.5 Generación por Entidad Federativa.	12
Tabla 2.6 Centrales de Generación de Ciclo Combinado en 2017.	14
Tabla 2.7 Centrales de Generación Termoeléctrica convencional en 2017.	18
Tabla 2.8 Centrales de Generación Carboeléctricas en 2017.	19
Tabla 2.9 Centrales de Generación de Lecho Fluidizado en 2017.	20
Tabla 2.10 Centrales de Generación Turbogás en 2017.	22
Tabla 2.11 Centrales de Generación de Combustión Interna en 2017.	26
Tabla 2.12 Centrales de Generación Nucleoeléctricas en 2017.	32
Tabla 2.13 Centrales de Generación Hidroeléctrica en 2017.	34
Tabla 2.14 Centrales de Generación Eólica en 2017.	37
Tabla 2.15 Centrales de Generación Geotermoelectrica en 2017.	39
Tabla 2.16 Centrales de Generación Solar en 2017.	42
Tabla 2.17 Centrales de Generación con Bioenergía en 2017.	43
Tabla 2.18 Centrales de Generación de Cogeneración eficiente en 2017.	46

Glosario de términos

SIN	Sistema Interconectado nacional.
PIE's	Productores Independientes.
CFE	Comisión Federal de Electricidad.
FIRCO	Fideicomiso de Riesgos Compartidos.
INECC	Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero
SEN	Sistema Eléctrico Nacional.
CRE	Comisión Reguladora de Energía.
LTE	Ley de Transición Energética.
CAA	Calentador de Agua de Alimentación

Capítulo 1

Introducción

1.1 Balance de energía

Si se somete a un sistema en un estado energético específico, a algún proceso que provoca que cambie dicho estado, como la energía no puede crearse ni destruirse, para todos los casos debe cumplirse que:

[Entrada de energía al sistema desde los alrededores]= [Salida de energía del sistema hacia los alrededores]+ [Acumulación de energía dentro del sistema].

Todos los cambios de energía del sistema, entre los estados inicial y final, se pueden explicar mediante intercambios de energía entre el sistema y sus alrededores. La energía puede transformarse de unas formas a otras (mecánica, térmica, química, etc.), lo que obliga a considerar este aspecto en las ecuaciones. Los Balances de Energía serán imprescindibles en equipos en los que el intercambio de energía sea determinante, lo que fundamentalmente sucederá en cambiadores de calor, evaporadores, columnas de destilación, etc., es decir, cuando haya que calentar o enfriar un fluido. En el caso de los reactores químicos, también son imprescindibles los balances de energía para su diseño, ya que en cualquier caso habrá que asegurarse de que la temperatura del reactor permanezca dentro del intervalo deseado, especialmente cuando los efectos térmicos de la reacción sean importantes. En reacciones bioquímicas dichos efectos no suelen ser muy significativos, así que se podrán ignorar en el dimensionamiento preliminar de los fermentadores o reactores enzimáticos, siempre que se justifique.

Dejando de lado el planteamiento de los Balances de Energía en reactores, en la mayoría de los otros equipos, y a efectos de dimensionamiento preliminar, la llamada ecuación de las entalpías, que se incluye a continuación, suele ser suficiente para su planteamiento.

$$m_s H_s - m_e H_e = Q \quad (1)$$

De la ecuación (1) se tiene que m_s y m_e son los caudales másicos de entrada y salida del sistema, H_e y H_s las entalpías de los mismos, y Q el calor intercambiado por el sistema, que si es positivo será ganado por el sistema, y si es negativo será cedido por el mismo a los alrededores. El cálculo de la entalpía de cada corriente puede realizarse usando de su capacidad calorífica, y una temperatura de referencia, aunque si hay cambios de fase también habrá que considerar el calor latente. Para el vapor de agua lo ideal es usar las tablas de vapor de agua saturado o recalentado.(1)

1.2 Objetivo

En el presente trabajo se realiza un breve conocimiento de las centrales eléctricas del país en lo cual se observara que las centrales termoeléctricas son las de mayor funcionamiento y lo cual nos enfocaremos en el análisis energético de una termoeléctrica, realizaremos cálculos básicos para determinar las eficiencias y potencias, las cuales analizaremos en la caldera, en el generador de vapor así como en el condensador.

1.3 Justificación

Es importante conocer el comportamiento de la generación de energía mediante una termoeléctrica, ya que hasta la actualidad son las centrales de mayor generación eléctrica en el país llegando a generar más del 60 % de la generación total del país, en el mundo este tipo de centrales son muy utilizadas debido a su bajo costo, por lo que su utilización está muy extendida en el mundo económicamente avanzado y en el mundo en vías de desarrollo, a pesar de que estén siendo criticadas debido a su elevado impacto al medio ambiente. En la actualidad se están construyendo numerosas centrales termoeléctricas de las denominadas de ciclo combinado, que son un tipo de central que utiliza gas natural, gasóleo o incluso carbón preparado como combustible para alimentar una turbina de gas.

Es por eso que nos enfocaremos en el estudio energético de una termoeléctrica que a pesar de que las centrales de generación llamadas limpias van a la alza, no descartaremos este tipo de centrales, por su antigüedad y por su gran aportación en la generación de energía eléctrica, tardara tiempo en extinguirse las termoeléctricas, por lo cual analizaremos las perdidas y obtendremos la eficiencia de una termoeléctrica.

1.4 Metodología

En esta tesis, se empezará por saber sobre los antecedentes de las centrales eléctricas del país para luego clasificarlas en centrales de generación con fuentes renovables y no renovables, luego nos enfocaremos en el estudio de las termoeléctricas, para ello consultamos artículos, libros, artículos de investigación así como documentos oficiales de la República Mexicana para obtener información necesaria sobre los temas de la tesis.

1.5 Contenido de tesis

En el capítulo 1 contiene una breve introducción del balance de energía, así como el objetivo a lograr, existe una justificación del porque el estudio de este sistema de generación de energía eléctrica y obtener sus pérdidas y su eficiencia, en la metodología se menciona los pasos que se sigue para obtener los resultados de la tesis, y la descripción del contenido de tesis.

En el capítulo 2 se realiza una explicación de los antecedentes de las centrales eléctricas, así como una introducción a las centrales eléctricas actuales en funcionamiento y las cuales desglosaremos en centrales eléctricas con fuentes renovables y centrales eléctricas con fuentes no renovables y explicaremos cada uno de ellas y cada tipo de central.

En el capítulo 3 nos enfocaremos a las centrales Termoeléctricas que es nuestro caso de estudio, veremos cómo funciona una central termoeléctrica en general así como cada parte que compone a la central termoeléctrica para luego pasar a ver tres tipos de termoeléctricas que son la convencional, con recalentamiento y con una etapa regenerativa, explicaremos como funciona cada una de ellas.

En el capítulo 4 contiene el balance energético de una termoeléctrica que para nuestro caso es la de Tula Hidalgo, se realizara cálculos de potencias y eficiencias en cada componente de la termoeléctrica en tres tipos diferentes de termoeléctricas que son la termoeléctrica convencional, con recalentamiento y la de una etapa de recalentamiento con una etapa regenerativa.

En el capítulo 5 contiene las conclusiones obtenidas al finalizar este trabajo, en donde también se escriben algunas recomendaciones sobre esta rama de investigación.

Capítulo 2

Antecedentes de las centrales Eléctricas

2.1 Introducción

A finales del siglo XIX, los sectores textil y minero eran los principales usuarios de energía eléctrica. En 1879, en la fábrica de hilados y tejidos “La Americana” en la ciudad de León, Guanajuato, se instaló la primera planta generadora de electricidad con una capacidad de 1.8 KW. Hacia 1890, la Ciudad de México contaba con 2,054 focos para alumbrado público. Posteriormente, el alumbrado público se instaló en las principales ciudades del país, en Guadalajara en 1884, en Monterrey en 1888, y Veracruz y Mérida en 1889.

En 1889, de acuerdo con las estadísticas elaboradas por el Ministerio de Fomento, el país contaba con una capacidad total instalada de 837.89 KW distribuida en 60 plantas, sólo 9.51% era de origen hidráulico y el resto de origen térmico. El principal uso del suministro eléctrico eran los servicios públicos (cerca del 72%) y el resto para los servicios privados. Los servicios públicos principales eran iluminación, bombeo de agua y transporte (tranvías eléctricos). El primer tranvía eléctrico en la Ciudad de México se puso en marcha en 1900(ver Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Capacidad Eléctrica Instalada en México en 1889.

Zonas	kW Instalados	Porcentaje del total
Norte	65.52	7.85
Golfo	53.70	6.42
Pacífico Norte	17.47	2.08
Pacífico Sur	19.50	2.34
Centro	681.70	81.31
Total Nacional	837.89	100.00

En diciembre de 1905, entro en operación la central hidroeléctrica Necaxa. La línea de transmisión en corriente alterna que unía a la Ciudad de México con esta planta hidroeléctrica fue considerada en su momento como la más larga en operación en el mundo, con una extensión de cerca de 272 Km, y un nivel de tensión de 60 KV. En su momento fue considerada la planta hidroeléctrica más grande de Latinoamérica. La primera planta hidroeléctrica en México se instaló en Batopilas, Chihuahua con 22 KW de capacidad eléctrica en 1889.

En 1900, la capacidad instalada de generación de energía eléctrica en el país era únicamente de 18 MW. Para 1940, este valor era de 680 MW y dos décadas después, en

1960, era 3058 MW. A fines de 1959, se inauguró en el campo geotérmico de Pathe, Hidalgo, la primera planta Geotermoeléctrica del país con una capacidad de 3.5 MW. En 1973 esta central dejó de operar. (2 pág. 15)

En la segunda mitad del siglo XX, el primer gran proyecto hidroeléctrico fue la central Infiernillo, en el río Balsas, que entró en operación en 1965. Para transmitir la energía eléctrica generada en las hidroeléctricas hacia los centros de consumo fue necesario incrementar los niveles de tensión eléctrica previamente utilizados a principios de los años cincuenta (230 KV) por 400 KV.

A partir de 1960, se propició la expansión de una red constituida por regiones de generación hidroeléctrica y termoeléctrica, así como regiones de transmisión, desarrollando en diversas etapas la interconexión de sistemas aislados para constituirse un Sistema Interconectado Nacional (SIN) en alta tensión (230 y 400 KV) y unificando la frecuencia utilizada a 60 Hz. Un aspecto destacable de este crecimiento es que no se estandarizaron inicialmente las especificaciones de los componentes y equipos. Consecuentemente, hacia 1979 la Comisión Federal de Electricidad inició estudios y programas para aplicar criterios normalizados en el diseño de centrales termoeléctricas convencionales. Como resultado, en 1986 entró en operación comercial la central termoeléctrica San Luis Potosí, la primera central normalizada con unidades de 350 MW.

En 1958, se realizaron los primeros reconocimientos geológicos en el campo geotérmico de Cerro Prieto, Baja California, donde en abril y octubre de 1973 empezaron a operar las dos primeras unidades de 37.5 MW cada una. Estas unidades, junto con las siguientes dos de la misma capacidad, se encuentran actualmente fuera de operación, después de haber concluido su periodo de vida útil. No obstante, todavía existen otras unidades generadoras en operación en Cerro Prieto.

En 1982, inició operaciones la central carboeléctrica de Río Escondido, Coahuila, la primera de su tipo. Hacia 1987 la capacidad instalada en el país alcanzaba los 23.15 GW, con una participación de la generación termoeléctrica del 81%.

La primera y única central nucleoelectrica que se ha instalado en México, es la central Laguna Verde, ubicada en Veracruz, que inició operaciones en 1990.

El primer parque eólico en México se construyó en 1994 en La Venta, Oaxaca. El parque eólico La Venta, originalmente un proyecto prototipo, cuenta con siete aerogeneradores de 225 KW y fue el primero en su tipo en nuestro país y en América Latina.

La primera central en operación bajo el esquema de Productor Independiente de Energía fue Mérida III, en Yucatán, de tecnología ciclo combinado y con 484 MW de capacidad operando a partir del año 2000.

El primer parque fotovoltaico instalado por la Comisión Federal de Electricidad fue Santa Rosalía (Tres Vírgenes), ubicado en Baja California Sur con una capacidad de 1 MW que inicio operación en 2012.

La capacidad instalada de generación de energía eléctrica en el país entre 1960 y 2013, año en que se promulgo la Reforma Energética, creció 17.5 veces.

Durante 2017 entraron en operación 10 MW que son parte del proyecto solar Villanueva en Coahuila. Dicho proyecto forma parte de los ganadores de la Primera Subasta de Largo Plazo de 2015 y es el primer proyecto en operación bajo este esquema creado a partir de la Reforma Energética. (2 pág. 17)

En 2017, la capacidad instalada del Sistema Eléctrico Nacional fue de 75,685 MW, 70.5% corresponde a centrales eléctricas convencionales y 29.5% a centrales eléctricas con tecnologías limpias. La capacidad instalada se incrementó 3% respecto a la capacidad registrada al cierre de 2016 (ver figuras 2.1 y 2.2, y Tabla 2.2).



Figura 2.1 Capacidad Instalada.

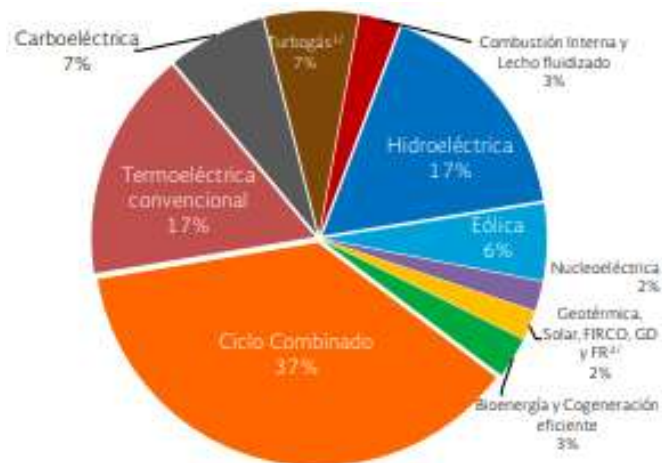


Figura 2.2 Capacidad Instalada Por Tipo De Tecnología en 2017.

La capacidad instalada de tecnologías limpias aumentó en 1,148 MW, entre 2016 y 2017, equivalente a 5.4% de incremento. El 59.1% de este crecimiento se debe a la instalación de nuevas centrales eólicas (464 MW) y de cogeneración eficiente (215 MW), cuyo crecimiento anual fue de 12.4% y 20.7%, respectivamente. La capacidad instalada de tecnologías convencionales se incrementó en 1,027 MW, entre 2016 y 2017, equivalente a 2% de aumento. El 96.6% de este crecimiento se explica por la expansión de la capacidad de las centrales de ciclo combinado (810 MW) y combustión interna (182 MW), cuyo crecimiento anual fue de 3% y 12.5%, respectivamente.

Tabla 2.2 Capacidad Instalada Por Tipo De Tecnología.

Tecnología	2016 ^{2/}	2017 ^{2/}	TCA ^{3/} (%)	No. Centrales
Convencional	52,331	53,358	2.0	526
Ciclo combinado	27,274	28,084	3.0	83
Termoeléctrica convencional	12,594	12,546	-0.4	59
Carboeléctrica	5,378	5,378	0.0	3
Turbogás ^{4/}	5,052	5,136	1.7	131
Combustión Interna	1,453	1,634	12.5	248
Lecho fluidizado	580	580	0.0	2
Limpia	21,179	22,327	5.4	271
Renovable	18,529	19,462	5.0	239
Hidroeléctrica	12,589	12,642	0.4	86
Eólica	3,735	4,199	12.4	45
Geotérmica	909	926	1.9	8
Solar	145	214	47.4	23
Bioenergía ^{5/}	889	1,007	13.3	77
Generación Distribuida (GD) ^{6/}	248	434	75.3	
FIRCO ^{7/}	14	40	182.2	
Otras	2,651	2,865	8.1	32
Nucleoeléctrica	1,608	1,608	0.0	1
Cogeneración eficiente	1,036	1,251	20.7	30
Frenos regenerativos	6.61	6.61	0.0	1
Total^{8/}	73,510	75,685	3.0	797

La evolución histórica de la capacidad de generación de energía eléctrica durante los últimos 15 años permite observar el incremento de la participación de las energías limpias, siendo de 24.4% en 2003 (ver figura 2.3).

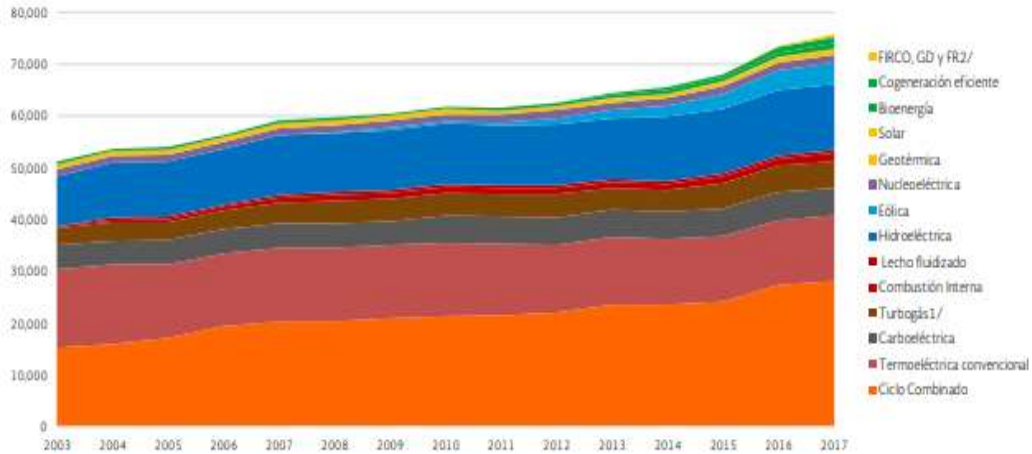


Figura 2.3 Evolución De La Capacidad Instalada Por Tipo De Tecnología.

En 2017, se generaron 329,162 GWh de energía eléctrica, 3.1% más que en 2016 (9,799 GWh). El 78.9% de la electricidad generada proviene de tecnologías convencionales (259,766 GWh) y el 21.1% restante de tecnologías limpias (69,397 GWh) (ver Figura 2.4). El 50% de la generación proviene ciclos combinados (165,245 GWh), el 13% de térmicas convencionales (42,780 GWh), el 9% de carboeléctricas (30,557 GWh) y el 10% de hidroeléctricas (31,848 GWh). (2 pág. 22)

La generación a partir de fuentes limpias registró un aumento de 4,529 GWh (7% más que en 2016). El 76.9% de la generación limpia proviene de centrales hidroeléctricas (45.9%), nucleoeeléctricas (15.7%) y eólicas (15.3%).

La generación eléctrica proveniente de las tecnologías convencionales se incrementó en 5,270 GWh (2.1% más que en 2016). El 80.1% de la generación convencional proviene de centrales de ciclo combinado (63.6%) y termoeléctricas convencionales (16.5%) (Ver Figuras 2.4. y 2.5, y Tabla 2.3.).

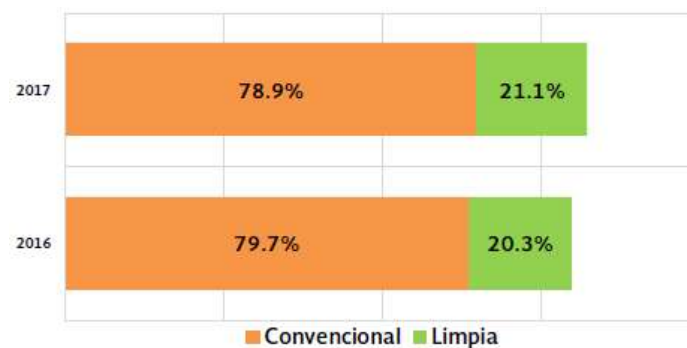


Figura 2.4 Generación De Energía Eléctrica.

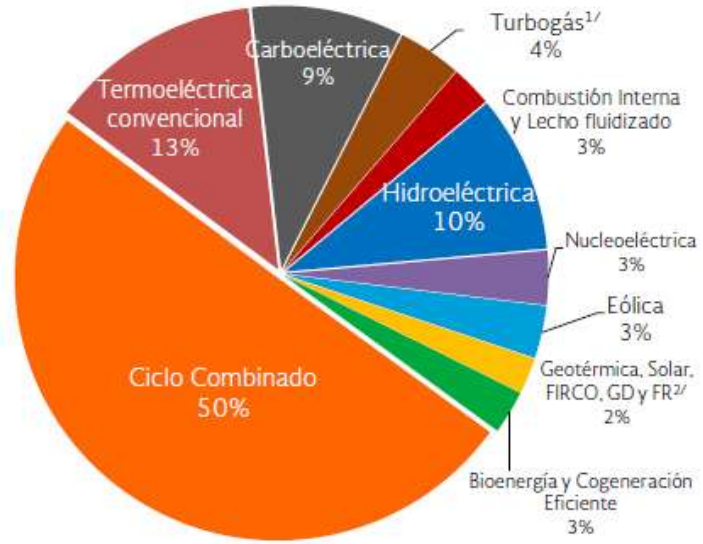
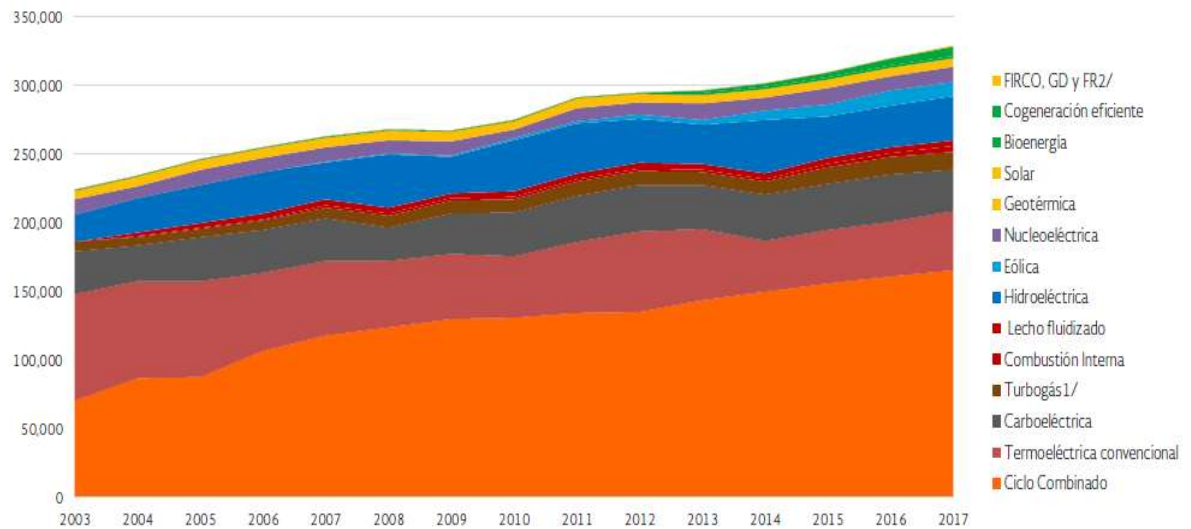


Figura 2.5 Generación De Energía Eléctrica Por Tipo De tecnología en 2017

Tabla 2.3 Generación De Energía Eléctrica.

Tecnología	2016 ^{1/}	2017 ^{2/}	TCA ^{3/} (%)
Convencional	254,496	259,766	2.1
Ciclo combinado	160,378	165,245	3.0
Termoeléctrica convencional	40,343	42,780	6.0
Carboeléctrica	34,208	30,557	-10.7
Turbogás ^{4/}	12,600	12,849	2.0
Combustión Interna	3,140	4,006	27.6
Lecho fluidizado	3,826	4,329	13.1
Limpia	64,868	69,397	7.0
<i>Renovable</i>	49,244	51,578	4.7
Hidroeléctrica	30,909	31,848	3.0
Eólica	10,463	10,620	1.5
Geotérmica	6,148	6,041	-1.7
Solar	160	344	114.8
Bioenergía ^{5/}	1,471	1,884	28.0
Generación Distribuida (GD) ^{6/}	56	760	1,246.7
FIRCO ^{7/}	36	82	127.3
<i>Otras</i>	15,624	17,818	14.0
Nucleoeléctrica	10,567	10,883	3.0
Cogeneración eficiente	5,053	6,932	37.2
Frenos regenerativos	4	4	0.0
Total^{8/}	319,364	329,162	3.1

El comportamiento histórico de la generación de energía eléctrica en los últimos 15 años ha presentado un crecimiento promedio anual de 2.8%. La participación de generación limpia en 2003 fue de 16.7% (ver Figura 2.6).



Las centrales eléctricas de CFE generaron el 52% de la energía eléctrica en 2017, los PIE's aportaron el 26.7%, y el 21.3% restante es la producción que los particulares aportaron bajo los esquemas de autoabastecimiento, cogeneración, pequeña producción, exportación, usos propios continuos y generador, así como por generación distribuida y los sistemas rurales no interconectados reportados por FIRCO (ver Tabla 2.4.).

Tabla 2.4 Generación de Energía Eléctrica por Modalidad en 2017.

Modalidad	Generación Total	Participación (%)
Modalidades conforme a la LSPEE^{1/}		
CFE	409	0.1
Producción Independiente	87,928	26.7
Autoabastecimiento	37,596	11.4
Pequeña Producción	187	0.1
Cogeneración	16,601	5.0
Exportación	6,072	1.8
Usos Propios Continuos	973	0.3
Modalidades conforme a la LIE^{2/}		
CFE - Generador	170,649	51.8
Generador	7,905	2.4
Otros		
FIRCO y GD ^{3/}	842	0.3
Total^{4/}	329,162	100.0

En el 2017, el 62.3% de la generación Eléctrica se concentró en tres regiones de control (Noreste, Oriental y Occidental), el 30.4% se registró en cuatro regiones de control (Norte, Central, Noroeste y Peninsular) y el 7.1% restante se produjo en los sistemas aislados de Baja California, Baja California Sur y Mulegé.

Los cinco estados con mayor producción de energía eléctrica fueron: Veracruz, Tamaulipas, Nuevo León, Baja California y Guerrero, que en conjunto aportaron el 42.6% de la generación eléctrica en el país. En contraste, los estados de: Aguascalientes, Morelos, Quintana Roo, Zacatecas y Tlaxcala fueron las entidades con menor generación de electricidad, con una aportación del 0.4% del total de generación del SEN (ver Figura 2.7. y Tabla 2.5.). (2 pág. 23)



Figura 2.7 Generación de Energía Eléctrica por Entidad Federativa en 2017.

Tabla 2.5 Generación por Entidad Federativa.

Entidad	Generación 2016 ^{1/}	Generación 2017 ^{2/}	TCA(%) ^{3/}	Participación (%) ^{4/}	Posición
AGS	40	36	-11.1	0.0	32
BC	19,427	20,234	4.2	6.1	4
BCS	2,947	3,072	4.3	0.9	24
CAMP	3,574	3,386	-5.3	1.0	22
CHIS	10,832	11,322	4.5	3.4	13
CHIH	16,282	14,910	-8.4	4.5	9
COAH	20,746	16,927	-18.4	5.1	7
COL	13,453	14,489	7.7	4.4	10
CDMX	739	985	33.3	0.3	27
DGO	9,236	9,904	7.2	3.0	14
MEX	6,836	7,198	5.3	2.2	17
GTO	9,919	11,443	15.4	3.5	12
GRO	22,066	19,886	-9.9	6.0	5
HGO	13,317	12,395	-6.9	3.8	11
JAL	1,485	2,355	58.6	0.7	26
MICH	4,544	7,940	74.7	2.4	16
MOR	279	403	44.4	0.1	29
NAY	4,455	2,712	-39.1	0.8	25
NL	17,358	24,486	41.1	7.4	3
OAX	9,706	8,427	-13.2	2.6	15
PUE	5,800	6,020	3.8	1.8	19
QRO	4,037	4,791	18.7	1.5	21
QR	124	147	18.0	0.0	31
SLP	15,326	16,854	10.0	5.1	8
SIN	5,151	6,538	26.9	2.0	18
SON	16,256	17,279	6.3	5.2	6
TAB	3,205	3,231	0.8	1.0	23
TAMS	36,084	35,727	-1.0	10.9	2
TLAX	427	410	-3.9	0.1	28
VER	39,339	39,755	1.1	12.1	1
YUC	6,096	4,817	-21.0	1.5	20
ZAC	187	240	28.6	0.1	30
FIRCO y GD ^{5/}	93	842	809.5	0.3	-
Total^{6/}	319,364	329,162	3.1	100.0	-

El balance de energía por entidad federativa en 2017, que considera la generación y las ventas de electricidad, muestra que las regiones con los mayores excedentes de energía son: Guerrero y Colima. Las entidades que proporcionalmente presentan mayor déficit energético son: Aguascalientes y Quintana Roo (ver Figura 2.8).

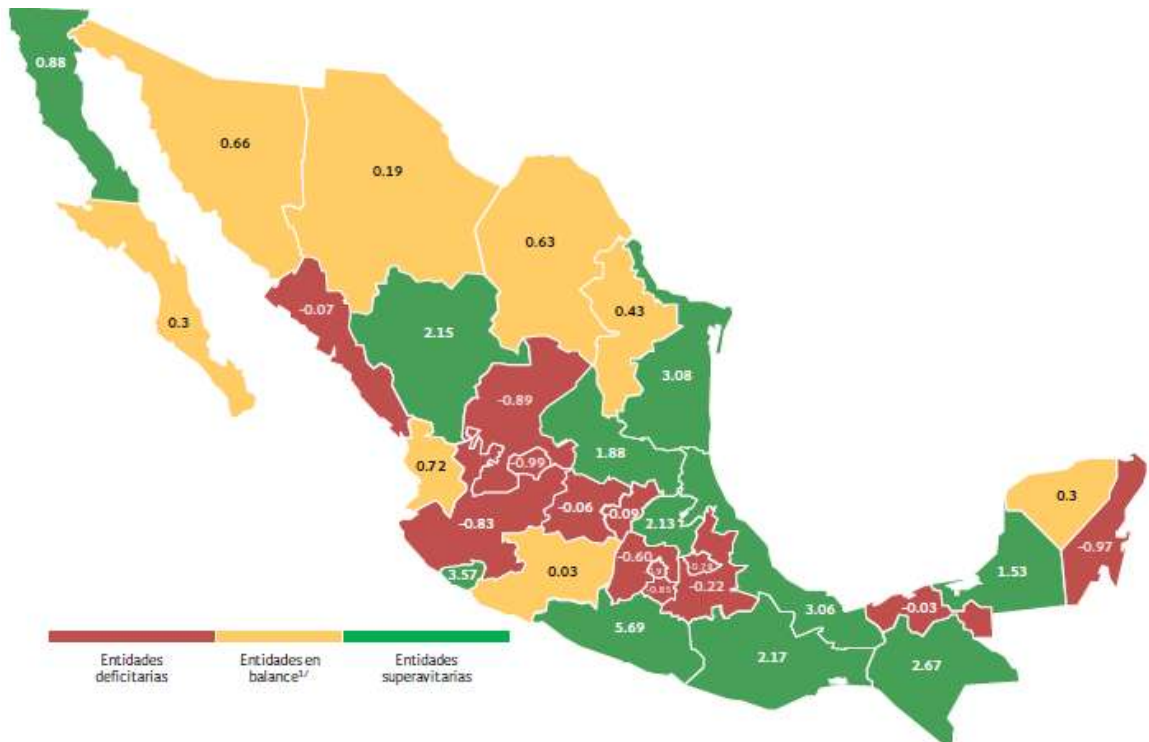


Figura 2.8 Balance de Energía Eléctrica por Entidad Federativa en 2017.

2.2 Centrales de Generación con Fuentes No Renovables

El grupo de tecnologías convencionales se integra por las unidades y centrales que generan energía eléctrica a partir del uso de combustibles fósiles como energético primario y no cuentan con un equipo de captura y confinamiento de CO₂. Estas centrales suelen satisfacer la demanda base, como es el caso de los ciclos combinados, o en algunos casos la demanda punta como las centrales de turbogas.

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), las tecnologías convencionales para la generación eléctrica contribuyen con el 18% de las emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel nacional (es la segunda actividad del país con mayor impacto al medio ambiente, después del transporte), con un volumen anual equivalente a 125 mil millones de toneladas de CO₂.

Este grupo incluye las tecnologías: carboeléctricas, ciclo combinado, combustión interna, lecho fluidizado, termoeléctrica convencional y turbogas. (2 pág. 25)

2.2.1 Ciclo combinado.

En México predomina la generación eléctrica a partir de ciclos combinados. Actualmente existen 83 centrales eléctricas con una capacidad instalada total de 28,084 MW equivalente al 37% de la capacidad instalada nacional. La energía eléctrica generada

en2017 alcanzó los 165,245 GWh, que representa el 50% de la generación eléctrica del país en 2017(ver Figura 2.9 y Tabla 2.6).

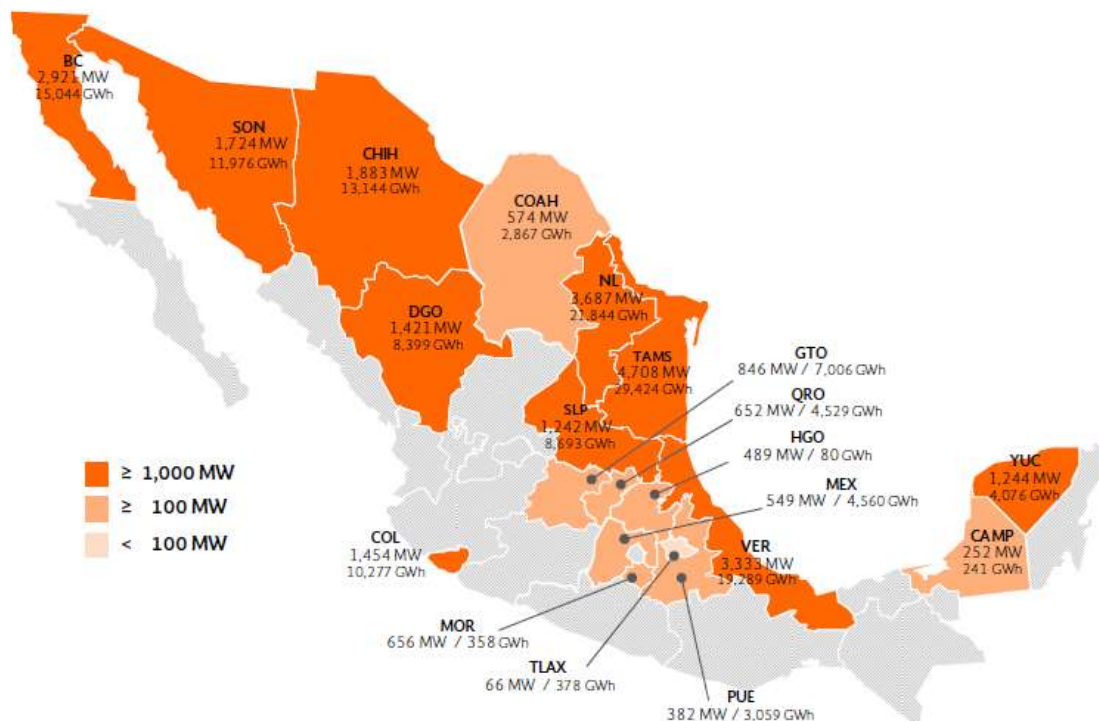


Figura 2.9 Capacidad y Generación en Centrales de Ciclo Combinado en 2017.

Tabla 2.6 Centrales de Generación de Ciclo Combinado en 2017.

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta ^{2/} (GWh)
1	Energía Azteca VIII	GTO	03-Occidental	AUT	131	960
2	Energía Azteca X_AUT	BC	08-Baja California	AUT	80	621
3	Energía Chihuahua	CHIH	05-Norte	AUT	50	78
4	Energía San Luis De La Paz	GTO	03-Occidental	AUT	220	1,822
5	Fuerza y Energía de Naco-Nogales	SON	04-Noroeste	AUT	50	317
6	Fuerza y Energía de Tuxpan_AUT	VER	02-Oriental	AUT	30	223
7	Iberdrola Energía Altamira	TAMS	06-Noreste	AUT	60	224
8	Iberdrola Energía del Golfo	TAMS	06-Noreste	AUT	80	117
9	Iberdrola Energía La Laguna	DGO	05-Norte	AUT	101	296
10	Iberdrola Energía Monterrey	NL	06-Noreste	AUT	742	4,416
11	Iberdrola Energía Monterrey, Dulces Nombres II	NL	06-Noreste	AUT	338	1,847
12	Iberdrola Energía Tamazunchale	SLP	06-Noreste	AUT	100	338
13	Ingredion México	QRO	03-Occidental	AUT	29	186
14	Magnelec	COAH	05-Norte	AUT	16	46
15	México Generadora de Energía	SON	04-Noroeste	AUT	470	3,467
16	Techgen_AUT	NL	06-Noreste	AUT	798	6,387
17	Pemex-Petroquímica, Complejo Petroquímico Cangrejera	VER	02-Oriental	COG	164	537
18	Pemex-Petroquímica, Complejo Petroquímico Morelos	VER	02-Oriental	COG	172	405

19	Procter & Gamble Manufactura	TLAX	02-Oriental	COG	60	355
20	AES Mérida III	YUC	07 -Peninsular	EXP	15	0
21	Energía Azteca X_EXP	BC	08-Baja California	EXP	50	474
22	Energía de Baja California	BC	08-Baja California	EXP	337	1,409
23	Termoeléctrica de Mexicali	BC	08-Baja California	EXP	680	2,962
24	Altos Hornos de México	COAH	06-Noreste	GEN	260	1,079
25	Bio Pappel Scribe	QRO	03-Occidental	GEN	32	
26	Braskem Idesa	VER	02-Oriental	GEN	176	906
27	Celulosa de Fibras Mexicanas	TLAX	02-Oriental	GEN	7	23
28	Central Anáhuac	TAMS	06-Noreste	GEN	49	28
29	Central Lomas de Real	TAMS	06-Noreste	GEN	49	20
30	Central Saltillo	COAH	06-Noreste	GEN	50	89
31	Central Valle Hermoso	TAMS	06-Noreste	GEN	50	31
32	Electricidad Águila de Altamira	TAMS	06-Noreste	GEN	49	57
33	Energía Azteca X_GEN	BC	08-Baja California	GEN	219	873
34	Fuerza y Energía de Norte Durango	DGO	05-Norte	GEN	132	208
35	Fuerza y Energía de Tuxpan_GEN	VER	02-Oriental	GEN	135	0
36	Iberdrola Energía Baja California	BC	08-Baja California	GEN	30	137
37	Mexichem Resinas Vinílicas	TAMS	06-Noreste	GEN	16	47
38	México Generadora de Energía	SON	04-Noroeste	GEN	60	0
39	Papelera Industrial Potosina	SLP	03-Occidental	GEN	7	33
40	Techgen_GEN	NL	06-Noreste	GEN	228	
41	Tractebel Energía de Monterrey	NL	06-Noreste	GEN	284	2,014
42	Agua Prieta II	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	409	2,941
43	Centro	MOR	02-Oriental	GEN-CFE	656	358
44	Chihuahua II (El Encino)	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	619	3,274
45	Dos Bocas	VER	02-Oriental	GEN-CFE	452	1,124
46	El Sáuz	QRO	03-Occidental	GEN-CFE	591	4,343
47	Gómez Palacio	DGO	05-Norte	GEN-CFE	240	355
48	Hermosillo	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	227	1,283
49	Huinalá II	NL	06-Noreste	GEN-CFE	471	2,940
50	Huinalá_CC	NL	06-Noreste	GEN-CFE	378	843
51	Manzanillo (Gral. Manuel Álvarez Moreno)_CC	COL	03-Occidental	GEN-CFE	1,454	10,277
52	Poza Rica	VER	02-Oriental	GEN-CFE	232	1,011
53	Presidente Juárez_CC	BC	08-Baja California	GEN-CFE	743	3,183
54	Río Bravo (Emilio Portes Gil)	TAMS	06-Noreste	GEN-CFE	211	885
55	Samalayuca II	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	522	4,432
56	San Lorenzo Potencia	PUE	02-Oriental	GEN-CFE	382	3,059
57	Tula (Francisco Pérez Ríos) CC	HGO	01-Central	GEN-CFE	489	80
58	Valladolid (Felipe Carrillo Puerto) CC	YUC	07 -Peninsular	GEN-CFE	220	1,209
59	Valle de México CC	MEX	01-Central	GEN-CFE	549	4,560
60	AES Mérida III; Mérida III	YUC	07 -Peninsular	PIE	484	781
61	Central Anáhuac, Río Bravo II	TAMS	06-Noreste	PIE	495	3,528
62	Central Lomas de Real, Río Bravo III	TAMS	06-Noreste	PIE	495	2,593
63	Central Saltillo, Saltillo	COAH	06-Noreste	PIE	248	1,653
64	Central Valle Hermoso, Río Bravo IV	TAMS	06-Noreste	PIE	500	2,680
65	Compañía de Generación Valladolid, Valladolid III	YUC	07 -Peninsular	PIE	525	2,085
66	Electricidad Águila de Altamira, Altamira II	TAMS	06-Noreste	PIE	495	3,673
67	Electricidad Águila de Tuxpan, Tuxpan II (Tres Estrellas)	VER	02-Oriental	PIE	495	3,169
68	Electricidad Sol, de Tuxpan, Tuxpan V	VER	02-Oriental	PIE	495	4,028
69	Energía Azteca VIII, El Sáuz - Bajío	GTO	03-Occidental	PIE	495	4,224
70	Energía Azteca X, Mexicali	BC	08-Baja California	PIE	489	3,693
71	Energía Campeche, Transalta Campeche	CAMP	07 -Peninsular	PIE	252	241
72	Energía Chihuahua, Transalta Chihuahua	CHIH	05-Norte	PIE	259	2,084
73	Fuerza y Energía de Hermosillo	SON	04-Noroeste	PIE	250	1,869

74	Fuerza y Energía de Naco-Nogales, Naco Nogales	SON	04-Noroeste	PIE	258	2,100
75	Fuerza y Energía de Norte Durango, Norte Durango	DGO	05-Norte	PIE	450	3,749
76	Fuerza y Energía de Tuxpan, Tuxpan III y IV	VER	02-Oriental	PIE	983	7,886
77	Iberdrola Energía Altamira, Altamira III y IV	TAMS	06-Noreste	PIE	1,036	8,236
78	Iberdrola Energía Baja California	BC	08-Baja California	PIE	294	1,691
79	Iberdrola Energía del Golfo, Altamira V	TAMS	06-Noreste	PIE	1,121	7,305
80	Iberdrola Energía La Laguna, La Laguna II	DGO	05-Norte	PIE	498	3,791
81	Iberdrola Energía Monterrey, Monterrey III (Dulces Nombres)	NL	06-Noreste	PIE	449	3,397
82	Iberdrola Energía Tamazunchale, Tamazunchale	SLP	06-Noreste	PIE	1,135	8,322
83	KST Electric Power Company, Norte II	CHIH	05-Norte	PIE	433	3,277
Total^{B/}					28,084	165,245

En los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Veracruz, Baja California y Chihuahua, se concentra el 58.8% de la capacidad instalada y el 59.7% de la generación eléctrica con esta tecnología. Lo anterior corresponde con la distribución de la demanda nacional de gas natural donde las regiones Noreste, Noroeste y Sur- Sureste representaron el 72.6% durante 2016. Casi el 60% de la demanda total de gas natural en el país corresponde al sector eléctrico.

La reducción de la producción de gas por parte de Pemex y los precios bajos del combustible en Estados Unidos de América, han resultado en el incremento sostenido de las importaciones de gas natural, que han registrado una tasa media de crecimiento anual de 17.5% en el periodo de 2016 respecto a 2015.

A nivel global, una quinta parte de la generación de electricidad depende del gas natural. Estados Unidos de América es el mayor productor de electricidad a partir de dicho combustible, seguido por Rusia y Japón. México se ubica dentro de los primeros diez países con la mayor generación de electricidad a partir de gas natural.

El proceso de generación en centrales de ciclo combinado es similar al de centrales con turbinas de gas, con la diferencia de que los gases de escape de la turbina son aprovechados en una caldera de recuperación para generar vapor e impulsar una turbina en un proceso similar al de las centrales térmicas convencionales.

La generación de electricidad a partir de ciclo combinado se caracteriza por operar de forma continua al contar con el suministro adecuado de combustible y agua. Este tipo de central presenta una eficiencia superior a otras tecnologías convencionales (es 1.4 veces mayor que la eficiencia de una termoeléctrica convencional), y emite en promedio 346 kilogramos de CO₂ por MWh, valor menor a la media del sector eléctrico. (2 pág. 26)

2.2.2 Termoeléctrica Convencional

En México existen 59 centrales termoeléctricas convencionales cuya capacidad instalada total es de 12,546 MW, equivalente al 17% del total nacional y generaron 42,780 GWh que representa el 13% del total de la electricidad generada en 2017.

El 66.8% de la capacidad instalada y el 73.8% de la energía eléctrica generada en centrales Termoeléctricas convencionales, se concentra en los estados de Veracruz, Hidalgo, Colima, Sonora, Tamaulipas y Sinaloa (ver Figura 2.10 y Tabla 2.7).

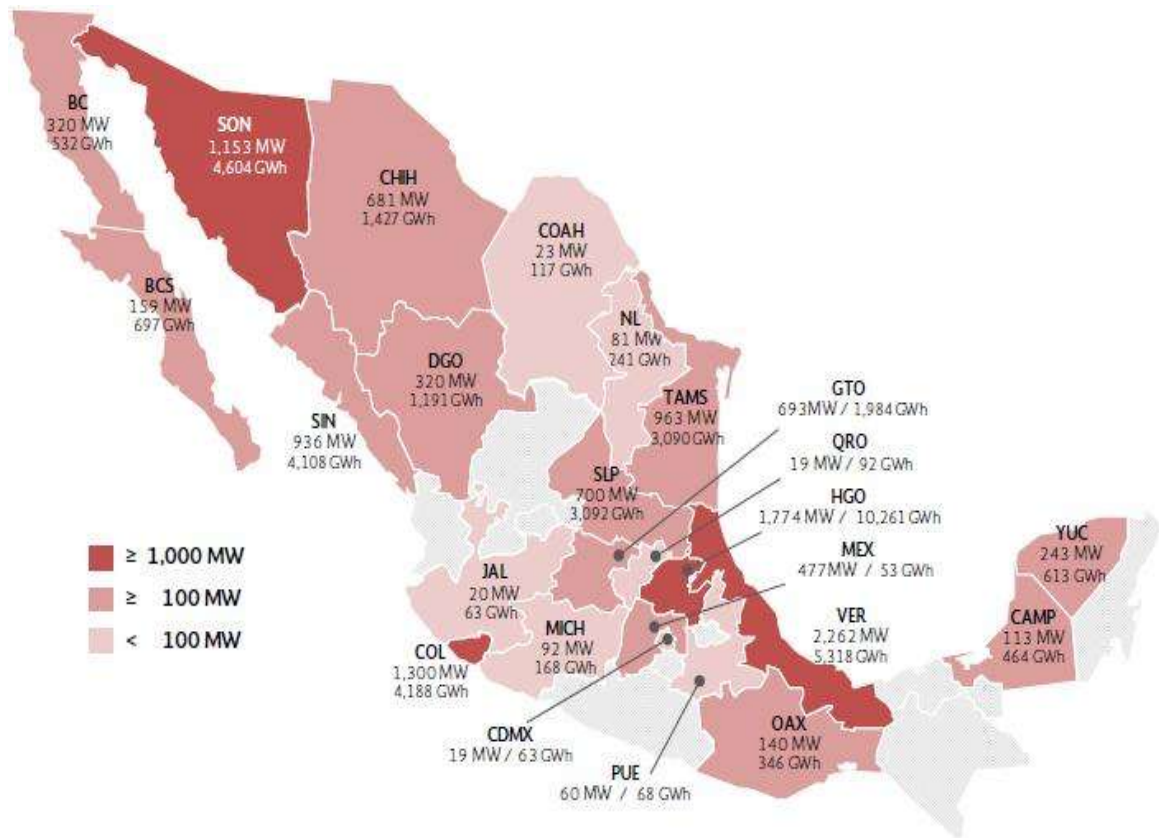


Figura 2.10 Capacidad y Generación en Centrales Termoeléctricas Convencionales en 2017.

En el mundo, 5% de la electricidad se produce mediante petróleo y sus derivados. Japón y Arabia Saudita encabezan el listado de los principales países que generan electricidad con dichos combustibles. México se mantiene entre los diez primeros productores de electricidad con crudo y sus derivados.

El principio de generación de electricidad en una central térmica convencional es la transformación del agua en vapor, el cual se expande en una turbina que, al darse la condición de presión y temperatura idónea, provoca un movimiento mecánico para impulsar el generador y producir así la electricidad. Posteriormente, el vapor abandona la turbina y se transforma en agua por medio de un condensador, para que esta se almacene nuevamente y comience el ciclo de transformación. Las centrales termoeléctricas convencionales pueden utilizar gran variedad de combustibles, entre ellos: carbón, gas natural, y derivados del petróleo como el diésel y el combustóleo, que se caracterizan por su alto nivel de emisiones contaminantes.

Tabla 2.7 Centrales de Generación Termoeléctrica convencional en 2017.

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta ^{2/} (GWh)
1	Agroindustrias del Balsas	MICH	01-Central	AUT	15	0
2	Akra Polyester	TAMS	06-Noreste	AUT	14	53
3	Arcelormittal Lázaro Cárdenas	MICH	01-Central	AUT	40	62
4	Bio Pappel Packaging, Planta de Papel Tizayuca	HGO	01-Central	AUT	35	149
5	Destiladora del Valle	VER	02-Oriental	AUT	2	6
6	Generadora Pondercel	CHIH	05-Norte	AUT	65	204
7	Mexicana De Cobre	SON	04-Noroeste	AUT	37	62
8	México Carbon Manufacturing	TAMS	06-Noreste	AUT	4	23
9	Papeles Ultra	MEX	01-Central	AUT	10	0
10	Ternium México, Planta Puebla	PUE	02-Oriental	AUT	6	26
11	Agroenergía	QRO	03-Occidental	COG	19	92
12	Compañía Cervecería De Coahuila_COG	COAH	06-Noreste	COG	16	86
13	Generadora Petrocel	TAMS	06-Noreste	COG	16	59
14	Grupo Celanese, Complejo Ocotlán	JAL	03-Occidental	COG	13	30
15	Industrias Derivadas del Etileno	VER	02-Oriental	COG	2	2
16	Innophos Fosfatados De México_COG	VER	02-Oriental	COG	6	0
17	Metalúrgica Met-Mex Peñoles	COAH	05-Norte	COG	7	31
18	Minera y Metalúrgica del Boleo_COG	BCS	10-Mulegé	COG	46	236
19	Pemex Gas y Petroquímica Básica, Complejo Procesador de Gas Poza Rica	VER	02-Oriental	COG	16	30
20	Pemex-Petroquímica, Complejo Petroquímico Independencia	PUE	02-Oriental	COG	54	42
21	Pemex-Refinación, Ing. Antonio M. Amor	GTO	03-Occidental	COG	143	434
22	Pemex-Refinación, Refinería Francisco I. Madero	TAMS	06-Noreste	COG	129	204
23	Pemex-Refinación, Refinería General Lázaro Cárdenas	VER	02-Oriental	COG	64	155
24	Pemex-Refinación, Refinería General Lázaro Cárdenas, Proyecto Reconfiguración	VER	02-Oriental	COG	40	0
25	Pemex-Refinación, Refinería Ing. Antonio Dovalí Jaime	OAX	02-Oriental	COG	115	277
26	Pemex-Refinación, Refinería Ing. Hector Lara Sosa	NL	06-Noreste	COG	79	240
27	Pemex-Refinación, Refinería Miguel Hidalgo	HGO	01-Central	COG	134	317
28	Polioles	MEX	01-Central	COG	3	3
29	Zacapu Power	MICH	03-Occidental	COG	8	6
30	Bio Pappel Printing, Central II	VER	02-Oriental	GEN	12	0
31	Altamira	TAMS	06-Noreste	GEN-CFE	500	2,475
32	Francisco Villa	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	300	467
33	Guaymas II (Carlos Rodríguez Rivero)	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	484	1,438
34	Lerdo (Guadalupe Victoria)	DGO	05-Norte	GEN-CFE	320	1,191
35	Lerma (Campeche)	CAMP	07-Peninsular	GEN-CFE	113	464
36	Manzanillo (Gral. Manuel Álvarez Moreno)_TC	COL	03-Occidental	GEN-CFE	1,300	4,188
37	Mazatlán II (José Aceves Pozos)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	616	2,214
38	Mérida II	YUC	07-Peninsular	GEN-CFE	168	428
39	Presidente Juárez_TC	BC	08-Baja California	GEN-CFE	320	532
40	Puerto Libertad	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	632	3,104
41	Punta Prieta II_TC	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	113	461
42	Río Bravo (Emilio Portes Gil) U3	TAMS	06-Noreste	GEN-CFE	300	276
43	Salamanca	GTO	03-Occidental	GEN-CFE	550	1,550
44	Samalayuca	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	316	757
45	Topolobampo II (Juan de Dios Bátiz)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	320	1,894
46	Tula (Francisco Pérez Ríos)_TC	HGO	01-Central	GEN-CFE	1,606	9,794

47	Tuxpan (Adolfo López Mateos)	VER	02-Oriental	GEN-CFE	2,100	5,041
48	Valladolid (Felipe Carrillo Puerto)_TC	YUC	07-Peninsular	GEN-CFE	75	186
49	Valle de México_TC	MEX	01-Central	GEN-CFE	450	0
50	Villa de Reyes	SLP	03-Occidental	GEN-CFE	700	3,092
51	Arcelormittal Las Truchas	MICH	01-Central	U.P.C.	22	65
52	Bio Pappel Scribe_1	MICH	03-Occidental	U.P.C.	4	17
53	Bio Pappel Scribe_2	MICH	03-Occidental	U.P.C.	4	18
54	Cervecería Modelo	CDMX	01-Central	U.P.C.	19	63
55	Cervecería Modelo de Guadalajara	JAL	03-Occidental	U.P.C.	7	33
56	Compañía Cervecera El Trópico	OAX	02-Oriental	U.P.C.	25	69
57	Empaques Modernos San Pablo_TC	MEX	01-Central	U.P.C.	14	50
58	Industria del Alkali	NL	06-Noreste	U.P.C.	2	1
59	Tereftalatos Mexicanos	VER	02-Oriental	U.P.C.	21	84
Total^{1/}					12,546	42,780

En México, como en otros países, se ha optado por sustituir esta tecnología por otras de mayor eficiencia y con menor impacto ambiental, ya que una termoeléctrica convencional es 73% menos eficiente que un ciclo combinado, y emite en promedio 680 kilogramos de CO2 por cada MWh de energía eléctrica producido. (2 pág. 26)

2.2.3 Carboeléctricas

México cuenta con tres centrales carboeléctricas cuya capacidad conjunta es de 5,378 MW equivalentes al 7% de toda la capacidad instalada. En 2017 estas centrales contribuyeron con 30,557 GWh de energía eléctrica, que representa el 9% de la generación de electricidad en 2017 (ver Figura 2.11 y Tabla 2.8).

Tabla 2.8 Centrales de Generación Carboeléctricas en 2017.

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta ^{2/} (GWh)
1	Carbón II	COAH	06-Noreste	GEN-CFE	1,400	7,075
2	Petalcalco (Plutarco Elías Calles)	GRO	01-Central	GEN-CFE	2,778	18,081
3	Río Escondido (José López Portillo)	COAH	06-Noreste	GEN-CFE	1,200	5,400
Total^{1/}					5,378	30,557

Las centrales carboeléctricas se encuentran ubicadas en Coahuila y Guerrero. El estado de Coahuila es el mayor productor a nivel nacional de carbón mineral, el cual es utilizado en las centrales de Río Escondido y Carbón II. La central dual Petacalco en el estado de Guerrero, utiliza como combustible primario carbón importado y puede utilizar también combustóleo.

A nivel mundial el carbón representa la fuente principal de energía para la generación de electricidad. Los países con mayor generación eléctrica a partir de esta fuente energética son China y Estados Unidos de América.

La concepción básica de una central carboeléctricas es análoga a una central termoeléctrica. El cambio principal radica en el generador de vapor, el cual es más complejo, de mayores dimensiones y con superficies más grandes para la transferencia de calor. Además, requiere de un tratamiento especial del combustible, el cual consiste en la pulverización y secado del carbón, así como de sistemas anticontaminantes como colectores de bolsas y equipos de desulfuración.

Si bien, una carboeléctrica es más eficiente que una termoeléctrica convencional, el uso del carbón como combustible primario para la generación de electricidad origina importantes emisiones contaminantes (en promedio emite 773 kilogramos de CO2 por MWh) y afecta a los equipos y materiales de la central generadora. No obstante, existen sistemas de captura y almacenamiento de CO2 que pueden ser integrados a dichas centrales, con la finalidad de mitigar el nivel de emisiones al medio ambiente.

2.2.4 Lecho Fluidizado

En México existen solo dos centrales de lecho fluidizado que suman una capacidad de 580 MW, a partir de las cuales se generaron 4,329 GWh de electricidad en 2017, equivalente a 1.3% del total nacional (ver Figura 2.11 y Tabla 2.9).

Tabla 2.9 Centrales de Generación de Lecho Fluidizado en 2017.

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta ^{2/} (GWh)
1	Termoeléctrica del Golfo	SLP	06-Noreste	AUT	290	2,227
2	Termoeléctrica Peñoles	SLP	06-Noreste	AUT	290	2,102
				Total^{3/}	580	4,329



Figura 2.11 Capacidad y Generación de Centrales Carboeléctricas y lecho Fluidizado en 2017.

La tecnología de lecho fluidizado permite el uso de diversos combustibles sólidos, solos o combinados, para generar electricidad, como es el caso del carbón, biomasa, lodos, residuos municipales, residuos agrícolas, o coque de petróleo; un combustible sólido y poroso aproximadamente con 92% de carbono y 8% de ceniza que se obtiene como residuo en la refinación del petróleo.

El lecho fluidizado es igual de eficiente que una carboeléctrica y contribuye a reducir las emisiones de contaminantes por la limpieza del gas antes de la combustión. Además, representa menores costos de operación y mantenimiento y evita costos adicionales de ingeniería al ser unidades de menor tamaño.

2.2.5 Turbogás

En el país operan 131 centrales de turbogas que representan el 7% de la capacidad total y 4% de la generación eléctrica en 2017.

Los estados de Campeche, Baja California, México, Guanajuato y Baja California Sur aportaron el 62.6% de la generación de energía eléctrica y concentraron el 53.4% de la capacidad en operación de centrales con turbina de gas en 2017 (ver Figura 2.12 y Tabla 2.10).

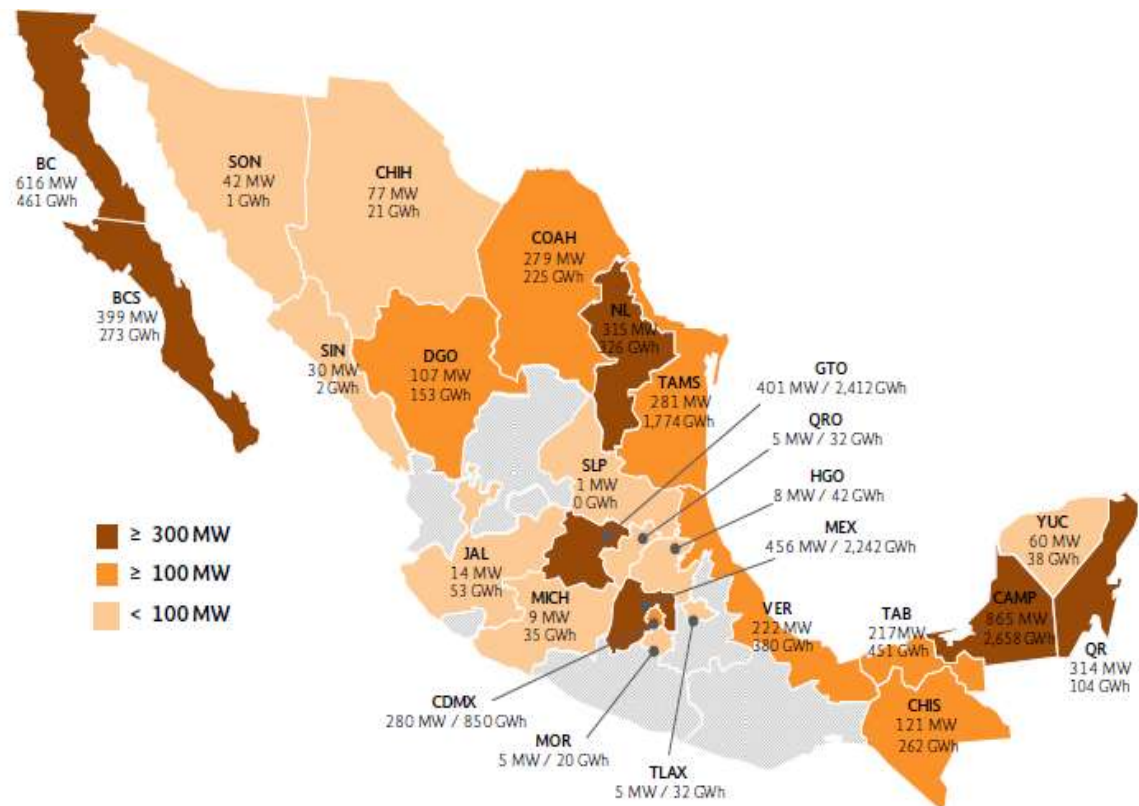


Figura 2.12 Capacidad y Generación de Centrales Turbogás en 2017.

Tabla 2.10 Centrales de Generación Turbogás en 2017.

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta ^{2/} (GWh)
1	Abbott Laboratories de México	CDMX	01-Central	AUT	6	12
2	Cargill de México	HGO	01-Central	AUT	8	42
3	Energía Costa Azul	BC	08-Baja California	AUT	182	43
4	Energía de Ramos	COAH	06-Noreste	AUT	200	113
5	Gresaise	TLAX	02-Oriental	AUT	5	32
6	Grimann, Planta Fase 1	MEX	01-Central	AUT	1	1
7	Grimann, Planta Fase 2	MEX	01-Central	AUT	1	3
8	Industrial Papelera Mexicana, Planta Uruapan	MICH	03-Occidental	AUT	8	32
9	Italaise	QRO	03-Occidental	AUT	5	32
10	Mission Hills	GTO	03-Occidental	AUT	8	40
11	Pemex-Exploración y Producción, Barco de Proceso, Yuum K' Ak'Naab	CAMP	07-Peninsular	AUT	62	4
12	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Akal-B	CAMP	07-Peninsular	AUT	23	29
13	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Akal-C	CAMP	07-Peninsular	AUT	28	27
14	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Akal-G	CAMP	07-Peninsular	AUT	11	12
15	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Akal-L	CAMP	07-Peninsular	AUT	25	18
16	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Akal-N	CAMP	07-Peninsular	AUT	6	0
17	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Ku-M	CAMP	07-Peninsular	AUT	15	9
18	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Ku-S	CAMP	07-Peninsular	AUT	14	9
19	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso y Transporte de Gas Atasta	CAMP	07-Peninsular	AUT	8	13
20	Pemex-Exploración y Producción, Centro de Proceso Zaap-C	CAMP	07-Peninsular	AUT	7	0
21	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Abkatún Inyección de Agua	CAMP	07-Peninsular	AUT	36	13
22	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Abkatún-A	CAMP	07-Peninsular	AUT	15	5
23	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Abkatún-D	CAMP	07-Peninsular	AUT	7	9
24	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Akal-J	CAMP	07-Peninsular	AUT	17	25
25	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Ku-A	CAMP	07-Peninsular	AUT	10	11
26	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Ku-H	CAMP	07-Peninsular	AUT	15	16
27	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Nohoch-A	CAMP	07-Peninsular	AUT	14	20
28	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Producción Pol-A	CAMP	07-Peninsular	AUT	9	10
29	Pemex-Exploración y Producción, Complejo Marino de Rebombeo	CAMP	07-Peninsular	AUT	5	5
30	Pemex-Exploración y Producción, Plataforma Akal-C, Compresión Ca-Ac-2	CAMP	07-Peninsular	AUT	13	33
31	Pemex-Exploración y Producción, Plataforma de Generación Eléctrica, Pg-Zaap-C	CAMP	07-Peninsular	AUT	100	215
32	Pemex-Exploración y Producción, Sistema de Bombeo Electrocentrifugo para el Campo Ek-Balam	CAMP	07-Peninsular	AUT	17	28
33	Pemex-Gas y Petroquímica Básica, Centro Procesador de Gas Área Coatzacoalcos	VER	02-Oriental	AUT	50	43
34	Pemex-Petroquímica, Terminal Refrigerada Pajaritos	VER	02-Oriental	AUT	14	37
35	Praxair México	TAB	02-Oriental	AUT	16	13
36	Representaciones e Investigaciones Médicas	JAL	03-Occidental	AUT	1	3
37	Tecnología En Nitrógeno	TAB	02-Oriental	AUT	7	0
38	Termium México, Planta Monterrey	NL	06-Noreste	AUT	50	7
39	Urrea Herramientas Profesionales	JAL	03-Occidental	AUT	1	4

40	Vidrio Plano de México	NL	06-Noreste	AUT	11	0
41	Tijuana	BC	08-Baja California	CFE	345	399
42	Vizcaino	BCS	10-Mulegé	CFE	14	9
43	Almidones Mexicanos	JAL	03-Occidental	COG	12	46
44	Bio Pappel	DGO	05-Norte	COG	23	146
45	Bio Pappel Printing	VER	02-Oriental	COG	40	248
46	Compañía de Nitrógeno de Cantarell	CAMP	07-Peninsular	COG	363	2,135
47	CSI en Saltillo	COAH	06-Noreste	COG	3	12
48	El Palacio de Hierro, S. A. De C. V., Sucursal Monterrey	NL	06-Noreste	COG	1	3
49	Empaques Modernos San Pablo_TG	MEX	01-Central	COG	6	32
50	Enertek	TAMS	06-Noreste	COG	168	1,162
51	Fersinsa GB	COAH	06-Noreste	COG	6	18
52	GS Energía	MICH	03-Occidental	COG	1	3
53	Homecare de México	NL	06-Noreste	COG	1	0
54	Industrias Químicas Falcon de México	MOR	01-Central	COG	5	20
55	Innovation Packaging and Process	SLP	03-Occidental	COG	1	0
56	Láminas Acanaladas Infinita_COG	MEX	01-Central	COG	6	2
57	Micase	MEX	01-Central	COG	11	0
58	Pemex-Exploración y Producción, Planta Eléctrica Cárdenas	TAB	02-Oriental	COG	42	33
59	Pemex-Exploración y Producción, Terminal Marítima Dos Bocas	TAB	02-Oriental	COG	71	127
60	Pemex-Gas y Petroquímica Básica, Complejo Procesador de Gas Burgos	TAMS	06-Noreste	COG	20	43
61	Pemex-Gas y Petroquímica Básica, Complejo Procesador de Gas Cactus	CHIS	02-Oriental	COG	121	262
62	Pemex-Gas y Petroquímica Básica, Complejo Procesador de Gas Cd. Pemex	TAB	02-Oriental	COG	59	221
63	Pemex-Gas y Petroquímica Básica, Complejo Procesador La Venta	TAB	02-Oriental	COG	22	58
64	Pemex-Petroquímica, Complejo Petroquímico Cosoleacaque	VER	02-Oriental	COG	60	0
65	Pemex-Petroquímica, Complejo Petroquímico Pajaritos	VER	02-Oriental	COG	59	52
66	Procter & Gamble Manufactura, Planta Talismán	CDMX	01-Central	COG	7	24
67	Proteínas Naturales	NL	06-Noreste	COG	6	38
68	Styrolution Mexicana	TAMS	06-Noreste	COG	11	75
69	Tractebel Energía de Pánuco	TAMS	06-Noreste	COG	61	366
70	Absormex CMPC Tissue	TAMS	06-Noreste	GEN	22	128
71	CE G. Sanborns Monterrey_GEN	NL	06-Noreste	GEN	1	0
72	CE G. Sanborns_GEN	CDMX	01-Central	GEN	1	0
73	Compañía Cervecería de Coahuila_GEN	COAH	06-Noreste	GEN	22	42
74	EVM Energía del Valle de México	MEX	01-Central	GEN	129	660
75	Láminas Acanaladas Infinita_GEN	MEX	01-Central	GEN	3	0
76	Lamosa Energía de Monterrey, S. A. de C. V.	NL	06-Noreste	GEN	8	22
77	Petstar	MEX	01-Central	GEN	2	0
78	Aragón	CDMX	01-Central	GEN-CFE	32	186
79	Atenco	MEX	01-Central	GEN-CFE	32	164
80	Baja California Sur I UME-1	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	26	0
81	Baja California Sur I UME-11	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	20	0
82	Cancún	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	102	46
83	Chankanaab	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	53	23
84	Chávez	DGO	05-Norte	GEN-CFE	28	2
85	Ciprés	BC	08-Baja California	GEN-CFE	27	5
86	Ciudad Constitución	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	33	8
87	Ciudad del Carmen	CAMP	07-Peninsular	GEN-CFE	47	12
88	Coapa	CDMX	01-Central	GEN-CFE	32	170
89	Cogeneración Salamanca	GTO	03-Occidental	GEN-CFE	393	2,372
90	Coyotepec	MEX	01-Central	GEN-CFE	64	416

91	Cuautitlán	MEX	01-Central	GEN-CFE	32	237
92	Culiacán	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	30	2
93	Ecatepec	MEX	01-Central	GEN-CFE	32	158
94	Fundidora	NL	06-Noreste	GEN-CFE	12	19
95	Guerrero Negro II UME-14	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	13	0
96	Guerrero Negro II UME-8	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	10	4
97	Huinalá_TG	NL	06-Noreste	GEN-CFE	150	123
98	Industrial Caborca	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	42	1
99	Industrial Juárez	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	18	6
100	Iztapalapa	CDMX	01-Central	GEN-CFE	32	174
101	La Laguna_TG	DGO	05-Norte	GEN-CFE	56	5
102	La Paz	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	43	39
103	Leona	NL	06-Noreste	GEN-CFE	24	53
104	Los Cabos	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	85	207
105	Los Cabos UME-10	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	19	0
106	Los Cabos UME-12	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	17	0
107	Los Cabos UME-2	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	26	0
108	Los Cabos UME-3	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	26	0
109	Los Cabos UME-4	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	26	0
110	Los Cabos UME-9	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	19	0
111	Magdalena	CDMX	01-Central	GEN-CFE	32	145
112	Mérida	YUC	07-Peninsular	GEN-CFE	30	28
113	Mexicali	BC	08-Baja California	GEN-CFE	62	14
114	Monclova	COAH	06-Noreste	GEN-CFE	48	41
115	Nachi - Cocom	YUC	07-Peninsular	GEN-CFE	30	10
116	Nizuc	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	88	4
117	Nonoalco	CDMX	01-Central	GEN-CFE	106	0
118	Parque	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	59	15
119	Remedios	MEX	01-Central	GEN-CFE	32	177
120	Santa Cruz	CDMX	01-Central	GEN-CFE	32	139
121	Santa Rosalía UME-15	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	13	6
122	Santa Rosalía UME-7	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	10	0
123	Tecnológico	NL	06-Noreste	GEN-CFE	26	5
124	Universidad	NL	06-Noreste	GEN-CFE	24	57
125	Valle de México UME-5	MEX	01-Central	GEN-CFE	18	67
126	Vallejo	MEX	01-Central	GEN-CFE	32	142
127	Victoria	MEX	01-Central	GEN-CFE	32	179
128	Villa de las Flores	MEX	01-Central	GEN-CFE	32	3
129	Xul - Ha	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	40	32
130	Xul - Ha UME-13	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	13	0
131	Xul - Ha UME-6	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	19	0
Total^{B/}					5,136	12,849

Las turbinas de gas se componen de un compresor, una cámara de combustión y una turbina de expansión. El proceso de generación de electricidad inicia cuando el aire entra al compresor; después de la compresión, el aire entra a la cámara de combustión, donde una parte proporciona el oxígeno necesario para realizar la combustión, mientras la parte restante se utiliza para enfriar los gases y lograr la expansión en la turbina, provocando el movimiento mecánico que será transmitido al generador obteniendo así energía eléctrica. Los gases de escape son generalmente liberados a la atmósfera.

Las plantas de turbinas de gas son utilizadas principalmente para atender la demanda punta debido a su capacidad de arranque rápido; utilizan como principales fuentes de energía primaria el gas natural y el diésel, son menos eficientes que el resto de las tecnologías convencionales (ofrecen una eficiencia media de 36%), y en promedio emiten 509 kilogramos de CO2 por MWh con gas, o más de 660 kilogramos de CO2 por MWh con diésel. (2 pág. 27)

2.2.6 Combustión Interna

En 2017 operaron 248 centrales de combustión interna y plantas móviles, equivalentes al 2.2% de la capacidad total y contribuyeron con alrededor del 1.2% de la generación eléctrica en 2017 (ver Figura 2.13 y Tabla 2.11).

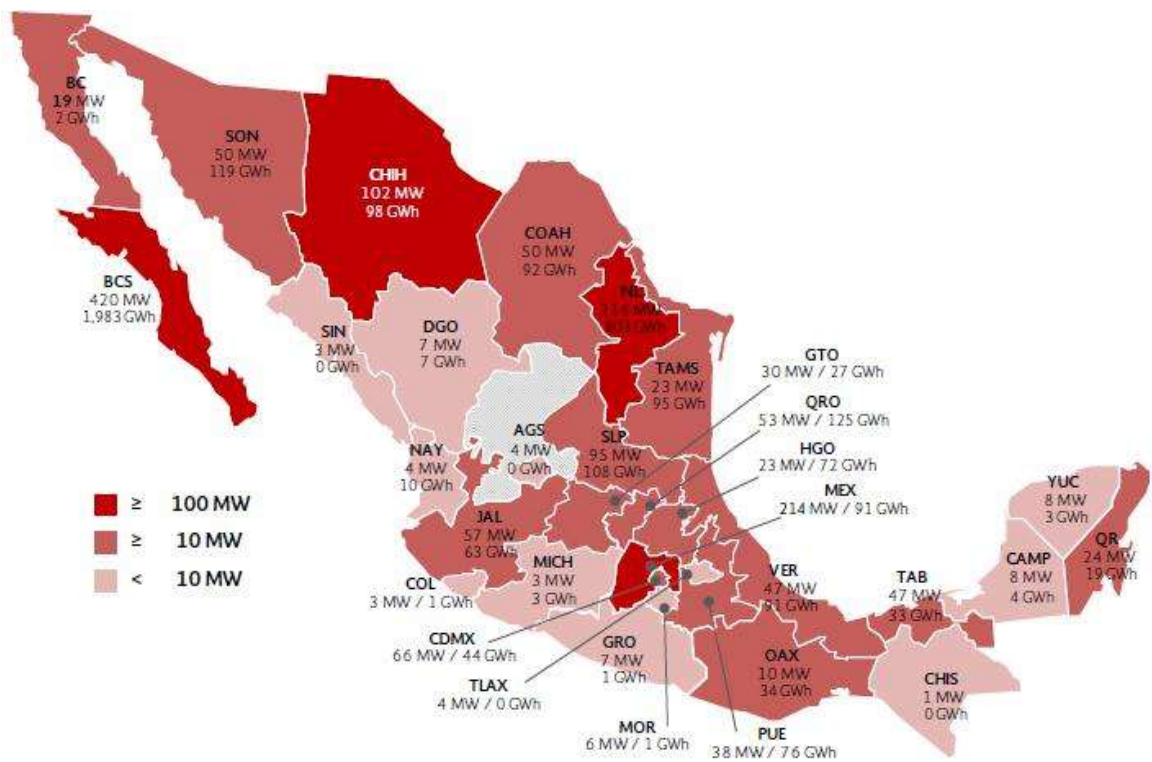


Figura 2.13 Capacidad y Generación en Centrales de Combustión Interna en 2017.

La producción de electricidad mediante combustión interna se caracteriza por tener costos altos respecto a otras tecnologías convencionales (más de 100 dólares por MWh), es así que solo se utiliza en demanda punta, o bien, en lugares donde no se cuenta con disponibilidad de combustibles para la generación de electricidad, como es el caso de Baja California Sur. A nivel nacional, esta entidad concentra la mayor capacidad disponible de plantas de combustión interna (25.7%) cuya generación representó el 49.5% del total de electricidad producida a través de esta tecnología en 2017 y el 64.5% de la generación del estado.

Tabla 2.11 Centrales de Generación de Combustión Interna en 2017.

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta ^{2/} (GWh)
1	Agnico Eagle México	CHIH	05-Norte	AUT	15	1
2	Agnico Eagle México, Proyecto Mascota	CHIH	05-Norte	AUT	4	1
3	Agnico Sonora	SON	04-Noroeste	AUT	6	19
4	Agribrands Purina México	GTO	03-Occidental	AUT	1	1
5	Agropecuaria La Norteña	CHIH	05-Norte	AUT	2	0
6	Alambres Procesados Industriales, Planta Belisario Domínguez 57	HGO	01-Central	AUT	2	0
7	Alfa Corporativo	NL	06-Noreste	AUT	2	0
8	Alimentos Kowi	SON	04-Noroeste	AUT	2	0
9	Auma	CHIH	05-Norte	AUT	2	0
10	Avomex Internacional	COAH	06-Noreste	AUT	4	0
11	Azinsa Aluminio	MEX	01-Central	AUT	1	0
12	Beneficencia Española de La Laguna	COAH	05-Norte	AUT	1	0
13	Bepensa Bebidas	YUC	07-Peninsular	AUT	2	0
14	Bimbo, Planta Baja California	BC	08-Baja California	AUT	3	0
15	Bimbo, Planta Marinela de Baja California	BC	08-Baja California	AUT	1	0
16	Bimbo, Planta Tijuana	BC	08-Baja California	AUT	2	0
17	Bridgestone de México	MOR	01-Central	AUT	2	0
18	Bticino de México	QRO	03-Occidental	AUT	1	0
19	C MT de La Laguna	DGO	05-Norte	AUT	2	0
20	Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma, Planta Puebla	PUE	02-Oriental	AUT	3	0
21	Coeur Mexicana	CHIH	05-Norte	AUT	22	6
22	Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali	BC	08-Baja California	AUT	2	1
23	Compañía Minera Autlán, Unidad Molango	HGO	02-Oriental	AUT	11	25
24	Compañía Minera Dolores, Área de Campamento	CHIH	05-Norte	AUT	1	2
25	Compañía Minera Dolores, Área de Procesos	CHIH	05-Norte	AUT	11	32
26	Condumex, Planta Guadalajara	JAL	03-Occidental	AUT	3	1
27	Condumex, Planta Latincasa	SLP	03-Occidental	AUT	4	4
28	Continental Automotive Guadalajara México	JAL	03-Occidental	AUT	4	0
29	Continental Automotive Mexicana	GTO	03-Occidental	AUT	1	0
30	Continental Automotive Mexicana, Planta Cuautla	MOR	01-Central	AUT	3	0
31	Cordaflex	QRO	03-Occidental	AUT	3	0
32	Covalence Specialty Materials México	BC	08-Baja California	AUT	2	0
33	Dafmex	BC	08-Baja California	AUT	1	0
34	Desarrollos Mineros San Luis	GRO	02-Oriental	AUT	4	0
35	Don David Gold México_AUT	OAX	02-Oriental	AUT	4	3
36	Draexlmaier Components Automotive De México	SLP	03-Occidental	AUT	2	0
37	El Palacio De Hierro, Sucursal Guadalajara	JAL	03-Occidental	AUT	3	0
38	El Palacio De Hierro, Sucursal Interlomas	MEX	01-Central	AUT	3	0
39	El Palacio De Hierro, Sucursal Villahermosa	TAB	02-Oriental	AUT	2	0
40	Embotelladora del Caribe	QR	07-Peninsular	AUT	2	0
41	Empacadora Celaya	GTO	03-Occidental	AUT	2	1
42	Ensamblés Hyson	BC	08-Baja California	AUT	2	1

43	Fundilag Hierro	COAH	05-Norte	AUT	2	1
44	Ganadería Integral SK	NL	06-Noreste	AUT	3	0
45	Ganadería Integral Vizur	SIN	04-Noroeste	AUT	3	0
46	Generadora La Paz	SLP	03-Occidental	AUT	13	5
47	Geusa de Occidente	MICH	03-Occidental	AUT	3	3
48	Goliek Interamerica	NL	06-Noreste	AUT	3	0
49	Goplás	MEX	01-Central	AUT	1	11
50	Graftech México	NL	06-Noreste	AUT	14	1
51	Grupo Gamesa, Planta Celaya	GTO	03-Occidental	AUT	8	5
52	Grupo Posadas, Planta Fiesta Americana Cancún	QR	07-Peninsular	AUT	1	0
53	Grupo Telvista	BC	08-Baja California	AUT	2	0
54	Harinera La Espiga	CDMX	01-Central	AUT	2	9
55	Hersmex	NL	06-Noreste	AUT	4	27
56	Hierro Sonora	SON	04-Noroeste	AUT	3	7
57	Hotel Condesa del Mar	GRO	02-Oriental	AUT	1	0
58	Hotel Gran Caribe Real	QR	07-Peninsular	AUT	1	0
59	Hotelería Del Sudeste, Planta Fiesta Americana Mérida	YUC	07-Peninsular	AUT	2	0
60	Hoteles y Villas Posadas, Planta Fiesta Americana Grand Los Cabos	BCS	09-Baja California Sur	AUT	2	0
61	Impulsora Mexicana de Energía	NL	06-Noreste	AUT	24	0
62	Inmobiliaria Puerta Maya	TAB	02-Oriental	AUT	2	5
63	Innophos Fosfatados de México	VER	02-Oriental	AUT	16	90
64	Inversiones Mallorca	QR	07-Peninsular	AUT	3	1
65	Inversiones Palma	QR	07-Peninsular	AUT	3	1
66	Jacktar	QR	07-Peninsular	AUT	3	4
67	Kellogg de México	QRO	03-Occidental	AUT	6	4
68	Kraft Foods de México	PUE	02-Oriental	AUT	1	0
69	La Torre del Vigía	MEX	01-Central	AUT	4	1
70	Laboratorios Pisa	JAL	03-Occidental	AUT	10	0
71	Laboratorios Pisa, Planta Tlajomulco	JAL	03-Occidental	AUT	5	0
72	Laboratorios Sophia	JAL	03-Occidental	AUT	2	1
73	Lapropa El Águila	GTO	03-Occidental	AUT	2	1
74	Latinoamericana de Vidrio	MEX	01-Central	AUT	6	0
75	Loma Textil	JAL	03-Occidental	AUT	3	0
76	Mabe México, Planta Saltillo	COAH	06-Noreste	AUT	9	4
77	Mabe Sanyo Compressors	SLP	03-Occidental	AUT	3	1
78	Manantiales La Asunción	PUE	02-Oriental	AUT	2	0
79	Maquilas Teta Kawi	SON	04-Noroeste	AUT	1	0
80	Marindustrias	COL	03-Occidental	AUT	2	1
81	Mega Empack, Planta II	YUC	07-Peninsular	AUT	2	0
82	Minas de la Alta Pimería	CHIH	05-Norte	AUT	9	0
83	Minas de Oro Nacional	SON	04-Noroeste	AUT	19	46
84	Minera Bismark	CHIH	05-Norte	AUT	3	0
85	Minera Real de Ángeles, Unidad El Concheño	CHIH	05-Norte	AUT	24	4
86	Minera Roble	DGO	05-Norte	AUT	2	0
87	Minera y Metalúrgica del Boleo_AUT	BCS	10-Mulegé	AUT	31	27
88	Molymex	SON	04-Noroeste	AUT	2	0
89	Nemak	NL	06-Noreste	AUT	7	0
90	Nestlé México_MEX	MEX	01-Central	AUT	2	0
91	Nestlé México_QRO	QRO	03-Occidental	AUT	2	0
92	Novatec Pagani	GTO	03-Occidental	AUT	2	0

93	Nusantara de México, Mina Santa Elena	SON	04-Noroeste	AUT	12	47
94	Nutricarsa	YUC	07-Peninsular	AUT	1	3
95	Omya México	QRO	03-Occidental	AUT	6	0
96	Panasonic de México	MEX	01-Central	AUT	3	0
97	Parque de Tecnología Electrónica	JAL	03-Occidental	AUT	7	58
98	Pemex-Exploración y Producción, Centro Operativo Cayo Arcas	CAMP	07-Peninsular	AUT	6	1
99	Pemex-Exploración y Producción, Plataforma Akal-C Inyección	CAMP	07-Peninsular	AUT	1	0
100	Pemex-Exploración y Producción, Plataforma Eco-1	CAMP	07-Peninsular	AUT	1	1
101	Pemex-Exploración y Producción, Plataforma Habitacional Litoral Tabasco Ha-Lt-01	TAB	07-Peninsular	AUT	5	2
102	Pemex-Exploración y Producción, Plataforma Marina Complejo Ixtoc-A	CAMP	07-Peninsular	AUT	1	2
103	Plastibolsa	CDMX	01-Central	AUT	2	0
104	Plásticos Irisagua	JAL	03-Occidental	AUT	4	1
105	Plásticos y Materias Primas	JAL	03-Occidental	AUT	5	2
106	Polímeros y Derivados, Planta El Carmen	GTO	03-Occidental	AUT	2	3
107	Pollo de Querétaro	QRO	03-Occidental	AUT	2	0
108	Posadas de Latinoamérica, Planta Fiesta Americana Grand Agua	QR	07-Peninsular	AUT	1	0
109	Posco México	TAMS	06-Noreste	AUT	21	77
110	Printpack Packaging de México	QRO	03-Occidental	AUT	2	0
111	Productos Farmacéuticos, Planta Aguascalientes	AGS	03-Occidental	AUT	4	0
112	Productos Urólogos de México	BC	08-Baja California	AUT	3	0
113	Promotores Inmobiliarios El Caracol	QR	07-Peninsular	AUT	1	0
114	Proteína Animal	JAL	03-Occidental	AUT	4	1
115	Qualtia Alimentos Operaciones	MEX	01-Central	AUT	5	22
116	Residuos Industriales Multiquim	NL	06-Noreste	AUT	2	1
117	Rivera Mayan	QR	07-Peninsular	AUT	4	1
118	Royal Porto	QR	07-Peninsular	AUT	1	0
119	Sabritas	SON	04-Noroeste	AUT	3	0
120	Sabritas, Planta Orizaba	VER	02-Oriental	AUT	3	0
121	Saint Gobain Vetrotex América	TLAX	02-Oriental	AUT	4	0
122	Sales del Istmo_1	VER	02-Oriental	AUT	1	0
123	Sales del Istmo_2	VER	02-Oriental	AUT	3	0
124	Sánchez y Martín	JAL	03-Occidental	AUT	2	0
125	Sasa del Pacífico	GRO	02-Oriental	AUT	1	1
126	Schering Plough	CDMX	01-Central	AUT	6	6
127	Secretaria de Seguridad Pública, Planta Colonia Penal Federal	NAY	03-Occidental	AUT	3	10
128	Sekisui S-Lec México	MOR	01-Central	AUT	1	0
129	Silices de Veracruz	VER	02-Oriental	AUT	7	1
130	Sistema de Agua y Saneamiento Metropolitano de Veracruz, Boca del Río y Medellín	VER	02-Oriental	AUT	3	0
131	Solvay & CPC Barium Strontium Monterrey	NL	06-Noreste	AUT	2	0
132	Sony Nuevo Laredo	TAMS	06-Noreste	AUT	2	18
133	Sulzer Pumps México	MEX	01-Central	AUT	6	0
134	Tablex Miller	SON	04-Noroeste	AUT	1	0
135	TCP Energy	MEX	01-Central	AUT	158	10
136	Tecnologías para el Cuidado Ambiental	SLP	03-Occidental	AUT	2	2
137	Teléfonos d México, Central Cuautitlán de Romero Rubio	MEX	01-Central	AUT	1	0
138	Teléfonos de México, Central Aragón	CDMX	01-Central	AUT	1	0
139	Teléfonos de México, Central Atzacualco	CDMX	01-Central	AUT	1	0
140	Teléfonos de México, Central Azteca Metro	MEX	01-Central	AUT	1	0
141	Teléfonos de México, Central Aztecas	GTO	03-Occidental	AUT	1	0

142	Teléfonos de México, Central Bandera	JAL	03-Occidental	AUT	1	0
143	Teléfonos de México, Central Bosques Del Lago	MEX	01-Central	AUT	1	0
144	Teléfonos de México, Central C.T. Mixcoac	CDMX	01-Central	AUT	1	0
145	Teléfonos de México, Central Carrasco	CDMX	01-Central	AUT	1	0
146	Teléfonos de México, Central Chamizal	MEX	01-Central	AUT	1	0
147	Teléfonos de México, Central Chapalita	JAL	03-Occidental	AUT	1	0
148	Teléfonos de México, Central Coatzacoalcos	VER	02-Oriental	AUT	1	0
149	Teléfonos de México, Central Colima	COL	03-Occidental	AUT	1	0
150	Teléfonos de México, Central Copérnico	CHIH	05-Norte	AUT	1	0
151	Teléfonos de México, Central Corregidora	GTO	03-Occidental	AUT	1	0
152	Teléfonos de México, Central Culhuacán	CDMX	01-Central	AUT	2	0
153	Teléfonos de México, Central Cultura	NAY	03-Occidental	AUT	1	0
154	Teléfonos de México, Central Ejército de Oriente	CDMX	01-Central	AUT	1	0
155	Teléfonos de México, Central Estrella	CDMX	01-Central	AUT	2	0
156	Teléfonos de México, Central Fuentes	COAH	05-Norte	AUT	1	0
157	Teléfonos de México, Central Fuertes	PUE	02-Oriental	AUT	1	0
158	Teléfonos de México, Central Guadalupe Metropolitana	CDMX	01-Central	AUT	1	0
159	Teléfonos de México, Central Hidalgo II	GRO	02-Oriental	AUT	1	0
160	Teléfonos de México, Central La Paz	PUE	02-Oriental	AUT	1	0
161	Teléfonos de México, Central Lerdo Tops	VER	02-Oriental	AUT	1	0
162	Teléfonos de México, Central Los Tollocan	MEX	01-Central	AUT	1	0
163	Teléfonos de México, Central Malinche	CDMX	01-Central	AUT	1	0
164	Teléfonos de México, Central Mirador	MOR	01-Central	AUT	1	0
165	Teléfonos de México, Central Montejo	YUC	07-Peninsular	AUT	1	0
166	Teléfonos de México, Central Paseo	TAB	02-Oriental	AUT	1	0
167	Teléfonos de México, Central Pedro Moreno	GTO	03-Occidental	AUT	1	0
168	Teléfonos de México, Central Petrolera	VER	02-Oriental	AUT	1	0
169	Teléfonos de México, Central Plaza Mérida	YUC	07-Peninsular	AUT	1	0
170	Teléfonos de México, Central Popocatépetl I	CDMX	01-Central	AUT	2	0
171	Teléfonos de México, Central Popotla	CDMX	01-Central	AUT	1	0
172	Teléfonos de México, Central Revolución	HGO	01-Central	AUT	1	0
173	Teléfonos de México, Central Roma I	CDMX	01-Central	AUT	3	0
174	Teléfonos de México, Central San Jerónimo	CDMX	01-Central	AUT	1	0
175	Teléfonos de México, Central Santa Fé	NL	06-Noreste	AUT	1	0
176	Teléfonos de México, Central Satélite	MEX	01-Central	AUT	1	0
177	Teléfonos de México, Central Tlaquepaque	JAL	03-Occidental	AUT	2	0
178	Teléfonos de México, Central Tuxtla Gutiérrez	CHIS	02-Oriental	AUT	1	0
179	Teléfonos de México, Central Vallarta	JAL	03-Occidental	AUT	1	0
180	Teléfonos de México, Central Vallejo	CDMX	01-Central	AUT	2	0
181	Teléfonos de México, Central Yáñez	SON	04-Noroeste	AUT	1	0
182	Teléfonos de México, Central Zaragoza	CDMX	01-Central	AUT	1	0
183	Teléfonos de México, Centro Administrativo Cuautitlán Izcalli	MEX	01-Central	AUT	1	0
184	Teléfonos de México, Centro Administrativo Lada	CDMX	01-Central	AUT	1	0
185	Teléfonos de México, Centro Administrativo Nextengo	CDMX	01-Central	AUT	5	0
186	Teléfonos de México, Centro Administrativo San Juan	CDMX	01-Central	AUT	6	0
187	Teléfonos de México, Centro Administrativo Verónica	CDMX	01-Central	AUT	2	0
188	Teléfonos de México, Centro de Trabajo Lindavista	CDMX	01-Central	AUT	1	0
189	Teléfonos de México, Centro Telefónico Puebla	PUE	02-Oriental	AUT	2	0
190	Teléfonos del Noroeste, Central Árbol III	BC	08-Baja California	AUT	2	0
191	Teléfonos del Noroeste, Central Lomas	BC	08-Baja California	AUT	1	0
192	Teléfonos del Noroeste, Central Principal	BC	08-Baja California	AUT	1	0
193	Ternium México, Planta Apm	NL	06-Noreste	AUT	5	0
194	The Royal Cancún	QR	07-Peninsular	AUT	2	0
195	Valeo Térmico	SLP	03-Occidental	AUT	4	0
196	Vidrio Formas	MEX	01-Central	AUT	3	0
197	Yoggo de México	SLP	03-Occidental	AUT	1	0

198	Los Cabos UME-17 y 21	BCS	09-Baja California Sur	CFE	4	0
199	Santa Rosalía UME-19 y 20	BCS	10-Mulegé	CFE	3	0
200	Becton Dickinson de México	MEX	01-Central	COG	7	24
201	Cartones Ponderosa	QRO	03-Occidental	COG	20	105
202	Clarum Energy	DGO	05-Norte	COG	3	6
203	Cobielec	PUE	02-Oriental	COG	3	7
204	Energía Bidarena	MEX	01-Central	COG	6	23
205	Eurocopoter de México, Planta Querétaro	QRO	03-Occidental	COG	3	2
206	Industrias Ferroplásticas, S. A. De C. V.	QRO	03-Occidental	COG	1	0
207	Productora Nacional de Papel	SLP	03-Occidental	COG	17	75
208	Prup	HGO	01-Central	COG	5	32
209	Sigma Alimentos Centro, Planta Atitalaquia	HGO	01-Central	COG	3	7
210	Central Generadora Eléctrica Huinalá	NL	06-Noreste	EXP	120	774
211	Atco-Ranman Energía SLP	SLP	03-Occidental	GEN	41	10
212	Axtel	QRO	03-Occidental	GEN	5	2
213	B-Energy Industries	CHIH	05-Norte	GEN	8	51
214	Biotek Power	GTO	03-Occidental	GEN	5	16
215	Caterpillar México	NL	06-Noreste	GEN	6	0
216	Caterpillar Torreón	COAH	05-Norte	GEN	6	0
217	CE G. Sanborns, Central Coacalco	MEX	01-Central	GEN	1	0
218	Central España	CDMX	01-Central	GEN	3	0
219	Central Generadora Eléctrica Huinalá	NL	06-Noreste	GEN	23	0
220	Central Irapuato	GTO	03-Occidental	GEN	4	0
221	Central Reforma	CDMX	01-Central	GEN	3	0
222	Cuprum	MEX	01-Central	GEN	2	0
223	Don David Gold México	OAX	02-Oriental	GEN	7	31
224	Fabricaciones Especializadas	DGO	05-Norte	GEN	1	0
225	Fermicaise	CDMX	01-Central	GEN	16	29
226	Givaudan de México	QRO	03-Occidental	GEN	3	11
227	Granjas Carroll de México, Central Perote	VER	02-Oriental	GEN	7	0
228	Industrial Papelera San Luis	SLP	03-Occidental	GEN	2	0
229	La Encantada Procesadora de Minerales	COAH	05-Norte	GEN	13	7
230	Laminados de Barro	COAH	06-Noreste	GEN	2	6
231	Metaloides	PUE	02-Oriental	GEN	22	59
232	Multiservicios 2001	GTO	03-Occidental	GEN	1	0
233	Parras Cone de México	COAH	05-Norte	GEN	8	48
234	Pasteurizadora Maulec	PUE	02-Oriental	GEN	1	6
235	Pemex-Exploración y Producción, Central Centro de Proceso Litoral-A	TAB	02-Oriental	GEN	38	26
236	Quimi-Kao	JAL	03-Occidental	GEN	1	0
237	Refractarios Básicos	COAH	06-Noreste	GEN	5	27
238	Ronal San Luis	SLP	03-Occidental	GEN	6	12
239	Sabormex	PUE	02-Oriental	GEN	3	4
240	Tizayuca Textil Vuva	HGO	01-Central	GEN	2	8
241	Baja California Sur I	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	210	1,260
242	Guerrero Negro II (Vizcaíno)	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	22	70
243	Holbox	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	3	13
244	San Carlos (Agustín Olachea A.)	BCS	09-Baja California Sur	GEN-CFE	104	576
245	Santa Rosalía	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	7	14
246	Santa Rosalía UME-16 y 18	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	5	0
247	Compañía Occidental Mexicana	BCS	09-Baja California Sur	U.P.C.	9	9
248	Exportadora de Sal, Planta Guerrero Negro e Isla de Cedros	BCS	10-Mulegé	U.P.C.	22	27
Total^{B/}					1,634	4,006

El proceso de generación por combustión interna es equivalente al de una central termoeléctrica convencional; sin embargo, la combustión se realiza dentro de un motor que comprime el aire y aumenta su temperatura, y al entrar en contacto con el combustible (diésel) provoca el proceso de combustión. Los modelos más recientes pueden quemar diferentes combustibles como el gas natural, gas asociado al petróleo crudo, biogás, combustibles vegetales, emulsiones de residuos pesados y combustóleo.

Las plantas de combustión interna también se utilizan como reserva de capacidad o unidades de emergencia en diversas instalaciones, como hospitales o industrias. De igual forma, presentan la ventaja de no requerir cantidades importantes de agua para la operación, aunque sus emisiones en promedio son 688 kilogramos de CO₂ por MWh, las cuales superan la media de emisiones del sector. (2 pág. 28)

2.2.7 Nucleoeléctrica

México cuenta con una sola central nucleoeléctrica ubicada en el estado de Veracruz, con una capacidad actual de 1,608 MW, cuya generación represento el 3% del total nacional (10,883 GWh) (ver Figura 2.14 y Tabla 2.12).



Figura 2.14 Capacidad y Generación en Centrales Nucleoeléctricas en 2017.

Tabla 2.12 Centrales de Generación Nucleoeléctricas en 2017.

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta ^{2/} (GWh)
1	Laguna Verde	VER	O2-Oriental	GEN-CFE	1,608	10,883
				Total^{3/}	1,608	10,883

A nivel mundial, la energía nuclear participa con el 11% de la energía eléctrica generada mediante los 450 reactores nucleares en operación, Estados Unidos de América y Francia son los países con el mayor número de centrales instaladas (99 y 58 plantas respectivamente).

Una central nuclear sigue el mismo principio de generación de energía eléctrica que una central de tecnología convencional, con la diferencia de que no requiere de un proceso de combustión. El vapor necesario para poner en marcha la turbina y esta a su vez el generador se obtiene mediante el proceso de fisión del uranio.

La fisión se produce al chocar un neutrón contra un núcleo de uranio o plutonio dentro de un reactor. La división de estos núcleos genera energía, partículas subatómicas y más neutrones que al chocar con otros núcleos de uranio o plutonio provocan una reacción en cadena. La energía generada se aprovecha mediante un refrigerante, el cual puede ser agua o sodio líquido. Este fluido absorbe el calor dentro del reactor y permite generar vapor de agua mediante un sistema secundario.

La fisión nuclear es una tecnología que ha estado en uso desde hace más de 50 años. Los últimos diseños ofrecen mayor seguridad y rendimiento.

Las nucleoeléctricas tienen una vida media útil de 60 años, tiempo que supera al resto de las tecnologías. Este tipo de centrales representan una fuente segura y competitiva para el suministro de energía eléctrica, ya que generan electricidad de forma continua para satisfacer la demanda base.

La energía nuclear es una fuente limpia, ya que no requiere de combustión para su funcionamiento, no está sujeta a la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles y en su proceso de generación no libera emisiones contaminantes.

2.3 Centrales de Generación con Fuentes Renovables

Las tecnologías consideradas limpias corresponden a centrales cuya fuente de energía y procesos de generación de electricidad producen emisiones o residuos, en cantidades menores que los umbrales establecidos en las diversas disposiciones aplicables.

Para que una fuente de energía o proceso de generación eléctrica pueda ser considerado como Energía Limpia, sus emisiones de CO₂ deberán ser menores a los 100 kilogramos por

cada MWh generado, en tanto no se expidan las disposiciones que determinen los umbrales máximos de emisiones o residuos aplicables a Energías Limpias.

México cuenta con un portafolio amplio de Energías Limpias, gracias a sus condiciones geográficas y climáticas, ya que puede disponer del viento, la radiación solar, los océanos, los mares, los ríos, los yacimientos geotérmicos, los bioenergéticas (biomasa y biogás), el metano y otros gases asociados a residuos sólidos u orgánicos, la energía nuclear y la energía generada por las centrales de cogeneración eficiente.

Es importante destacar que, mientras más amplia sea la definición y el listado de tecnologías consideradas como limpias, menor será el costo de incorporar dichas tecnologías al sistema, esto permitirá renovar la competitividad del país, contar con una matriz de generación eléctrica diversificada y mantener un balance eficiente y seguro del sistema.

2.3.1 Hidroeléctrica

En 2017, la generación hidroeléctrica representó el 10% de la generación total (31,848 GWh) y el 17% de la capacidad instalada del SEN (12,642 MW), con 86 centrales en operación (ver Figura 2.15 y Tabla 2.13).

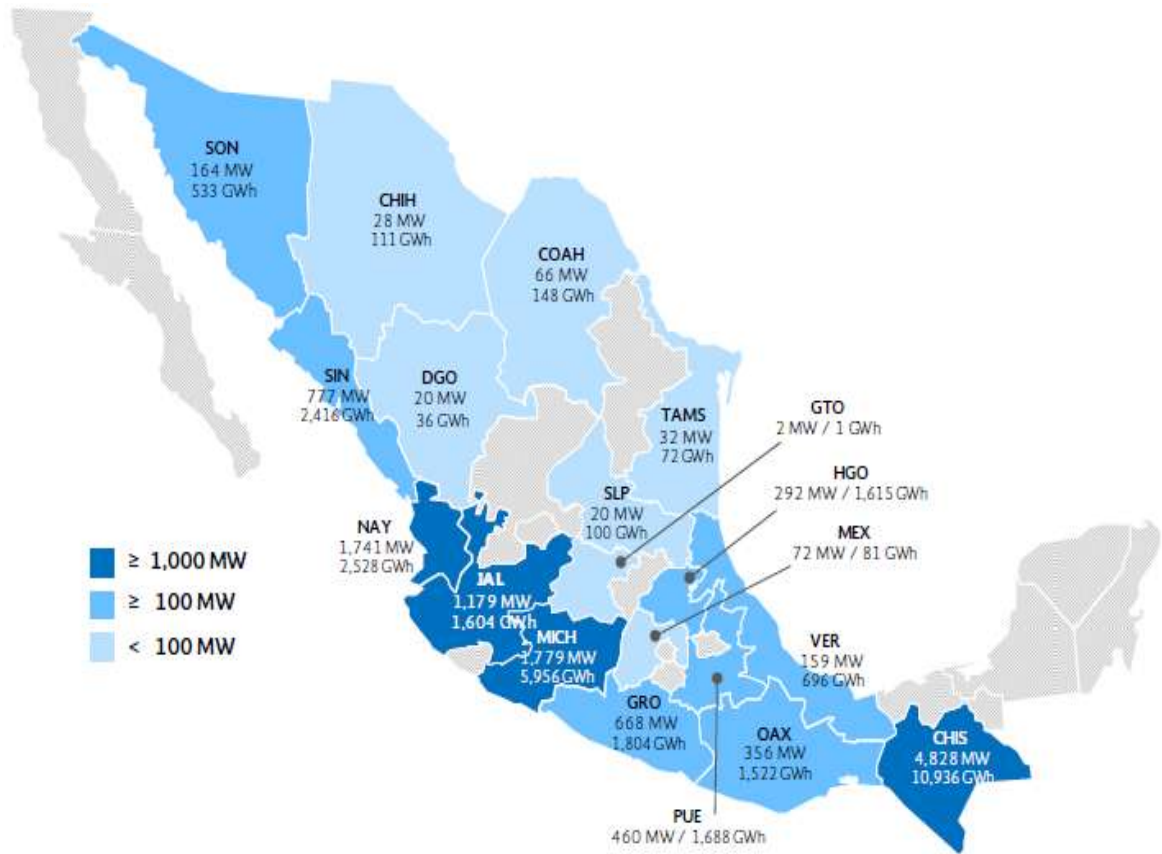


Figura 2.15 Capacidad y Generación en Centrales Hidroeléctricas en 2017.

Tabla 2.13 Centrales de Generación Hidroeléctrica en 2017.

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta ^{2/} (GWh)
1	Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma, Planta Orizaba	VER	02-Oriental	AUT	10	14
2	Compañía De Energía Mexicana, Planta Atexcaco	PUE	02-Oriental	AUT	36	240
3	Compañía Eléctrica Carolina	GTO	03-Occidental	AUT	2	1
4	Electricidad del Golfo	VER	02-Oriental	AUT	35	104
5	Energía EP	PUE	02-Oriental	AUT	0	2
6	Generadora Eléctrica San Rafael	NAY	03-Occidental	AUT	29	100
7	Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo	MICH	03-Occidental	AUT	4	18
8	Hidroeléctrica Arco Iris	JAL	03-Occidental	AUT	8	38
9	Hidroeléctrica Cajón de Peña	JAL	03-Occidental	AUT	2	6
10	Hidroelectricidad del Pacífico	JAL	03-Occidental	AUT	9	29
11	Hidrorizaba	VER	02-Oriental	AUT	2	7
12	Hidrorizaba II	VER	02-Oriental	AUT	4	13
13	Ingenio Tamazula, Planta Santa Cruz	JAL	03-Occidental	AUT	1	1
14	Mexicana de Hidroelectricidad Mexhidro	GRO	02-Oriental	AUT	30	72
15	Papelera Veracruzana	VER	02-Oriental	AUT	1	6
16	Primer Empresa Minera	DGO	05-Norte	AUT	20	36
17	Procesamiento Energético Mexicano	VER	02-Oriental	AUT	11	52
18	Proveedora de Electricidad de Occidente	JAL	03-Occidental	AUT	19	44
19	Zagis	VER	02-Oriental	AUT	2	0
20	Generadora Fénix, Alameda	MEX	01-Central	GEN	7	33
21	Generadora Fénix, Lerma (Tepuxtepec)	MICH	01-Central	GEN	71	247
22	Generadora Fénix, Necaxa	PUE	01-Central	GEN	109	361
23	Generadora Fénix, Patla	PUE	01-Central	GEN	45	155
24	Generadora Fénix, Tepexic	PUE	01-Central	GEN	45	168
25	Agua Prieta (Valentín Gómez Farías)	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	240	218
26	Aguamilpa Solidaridad	NAY	03-Occidental	GEN-CFE	960	1,543
27	Angostura (Belisario Domínguez)	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	900	1,795
28	Bacurato	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	92	290
29	Bartolinas	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	0.8	2
30	Bombaná	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	5	22
31	Boquilla	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	25	102
32	Botello	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	18	78
33	Caracol (Carlos Ramírez Ulloa)	GRO	02-Oriental	GEN-CFE	600	1,611
34	Chicoasén (Manuel Moreno Torres)	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	2,400	4,615
35	Chilapan	VER	02-Oriental	GEN-CFE	26	121
36	Cóbano	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	60	265
37	Colimilla	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	51	72
38	Colina	CHIH	05-Norte	GEN-CFE	3	9
39	Colotlipa	GRO	02-Oriental	GEN-CFE	8	35
40	Comedero (Raúl J. Marsal)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	100	344
41	Cupatitzio	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	80	450
42	El Cajón (Leonardo Rodríguez A.)	NAY	03-Occidental	GEN-CFE	750	873
43	El Fuerte (27 de Septiembre)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	59	355
44	El Novillo (Plutarco Elías Calles)	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	135	407
45	El Retiro (José Cecilio del Valle)	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	21	97
46	El Salto (Camilo Arriaga)	SLP	06-Noreste	GEN-CFE	18	90
47	Electroquímica	SLP	06-Noreste	GEN-CFE	1	6
48	Encanto	VER	02-Oriental	GEN-CFE	10	64
49	Falcón	TAMS	06-Noreste	GEN-CFE	32	72
50	Huites (Luis Donaldo Colosio)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	422	1,062
51	Humaya	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	90	315
52	Infiernillo	MICH	01-Central	GEN-CFE	1,200	3,409
53	Intermedia (Luis Marcial Rojas)	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	5	11
54	Itzicuaró	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	1	4
55	Ixtaczoquitlán	VER	02-Oriental	GEN-CFE	2	13
56	Jumatán	NAY	03-Occidental	GEN-CFE	2	11
57	La Amistad	COAH	06-Noreste	GEN-CFE	66	148
58	La Venta (Ambrosio Figueroa)	GRO	02-Oriental	GEN-CFE	30	86
59	La Yesca (Alfredo Elías Ayub)	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	750	853
60	Malpaso	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	1,080	2,935

61	Mazatepec	PUE	02-Oriental	GEN-CFE	220	748
62	Micos	SLP	06-Noreste	GEN-CFE	1	4
63	Minas	VER	02-Oriental	GEN-CFE	15	92
64	Mocúzari	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	10	41
65	Oviachic	SON	04-Noroeste	GEN-CFE	19	85
66	Peñitas (Ángel Albino Corzo)	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	420	1,463
67	Platanal	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	13	45
68	Portezuelo I	PUE	02-Oriental	GEN-CFE	2	10
69	Portezuelo II	PUE	02-Oriental	GEN-CFE	2	5
70	Puente Grande	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	9	33
71	San Pedro Porúas	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	3	3
72	Sanalona (Salvador Alvarado)	SIN	04-Noroeste	GEN-CFE	14	50
73	Santa Bárbara	MEX	01-Central	GEN-CFE	23	1
74	Santa Rosa (General Manuel M. Diéguez)	JAL	03-Occidental	GEN-CFE	70	268
75	Schpoiná	CHIS	02-Oriental	GEN-CFE	2	9
76	Tamazulapan	OAX	02-Oriental	GEN-CFE	2	7
77	Temascal	OAX	02-Oriental	GEN-CFE	354	1,515
78	Texolo	VER	02-Oriental	GEN-CFE	2	12
79	Tingambato	MEX	01-Central	GEN-CFE	42	46
80	Tirio	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	1	3
81	Tuxpango	VER	02-Oriental	GEN-CFE	39	197
82	Villita (José María Morelos)	MICH	01-Central	GEN-CFE	320	1,381
83	Zimapán (Fernando Hiriart Balderrama)	HGO	03-Occidental	GEN-CFE	292	1,615
84	Zumpimito	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	8	52
85	Hidroeléctrica de Tacotán	JAL	03-Occidental	P.P.	6	4
86	Hidroeléctrica Trigomil	JAL	03-Occidental	P.P.	8	28

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^V	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta ^{VI} (GWh)
Total^{IV}					12,642	31,848

En México, las grandes centrales hidroeléctricas se localizan en las regiones hidrológicas administrativas IV Balsas, VIII Lerma Santiago y XI Frontera Sur (ver Figura 2.16).



Figura 2.16 Cuencas de las Regiones Hidrológicas Administrativas.

Los países que concentran la mayor capacidad instalada en centrales hidroeléctricas son China, Canadá, Brasil, Estados Unidos de América y Rusia, los cuales representan el 53% de la capacidad hidroeléctrica mundial. México representa el 1% de la capacidad hidroeléctrica en el mundo.

En una central hidroeléctrica, se aprovecha la energía potencial del agua para convertirla en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica. Este proceso consiste en hacer pasar un flujo de agua por una turbina hidráulica acoplada a un generador eléctrico.

Las centrales hidroeléctricas varían en diseño, capacidad y tamaño, según las condiciones Topográficas y geológicas de los lugares donde está disponible el recurso hídrico; tienen bajos costos de operación, pero sus costos de inversión son mayores debido a la magnitud de la construcción de las plantas, generalmente se encuentran lejos de los centros de carga por lo que requieren extensas líneas de transmisión. Las centrales hidroeléctricas se clasifican en dos grupos:

- a. *Grandes centrales hidroeléctricas*: aquellas en las que se regula de forma anual o multianual la capacidad hidráulica almacenada, con la finalidad de maximizar la generación, y permitir el desarrollo de las actividades de otros sectores, como el agrícola. Las centrales con regulación son las siguientes: Angostura, Chicoasén, Malpaso, Penitas, Caracol, Infiernillo, Villita, Temascal, El Cajón, Aguamilpa, Zimapán y La Yesca, que representan el 79.3% de la capacidad hidroeléctrica del país.
- b. *Centrales hidroeléctricas menores*: aquellas en las que no se regula o se regula de forma horaria, diaria o semanal los caudales turbinados, por lo que su producción de energía eléctrica suele ser en periodos cortos de tiempo a fin de minimizar la posibilidad de derrames.

2.3.2 Eólica

En México se ubican 45 centrales eólicas cuya capacidad instalada alcanza los 4,199 MW que representa el 6% de la capacidad total instalada. Los parques eólicos del país aportaron un 3% de la generación total nacional (10,620 GWh).

La mayor concentración de este tipo de centrales se localiza en el estado de Oaxaca, con el 56% de la capacidad instalada y el 61% de la generación anual mediante esta tecnología (ver Figura 2.17 y Tabla 2.14).

Los países con la mayor capacidad instalada en parques eólicos son China, Estados Unidos de América, Alemania, España y Reino Unido, con la cual generan el 65% de la energía eólica mundial. México se ubica dentro de los primeros 20 países con la mayor generación de electricidad por medio del viento.

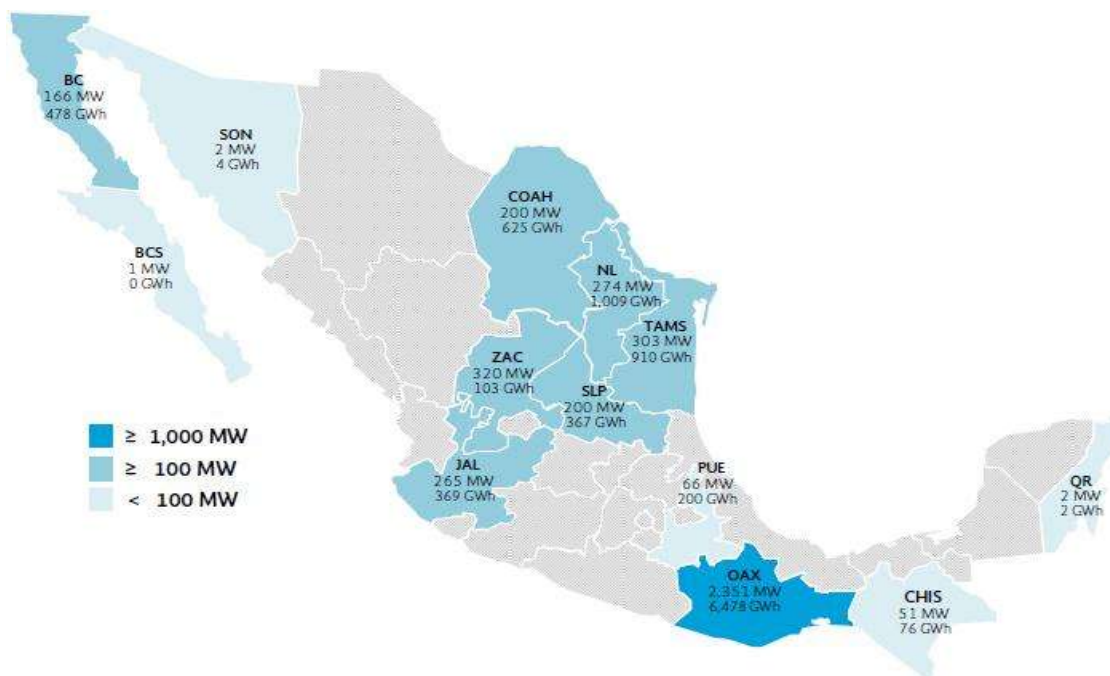


Figura 2.17 Capacidad y Generación en Centrales eólicas en 2017.

Tabla 2.14 Centrales de Generación Eólica en 2017.

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta ^{2/} (GWh)
1	Bii Nee Stipa Energía Eólica	OAX	02-Oriental	AUT	26	70
2	Compañía Eólica de Tamaulipas	TAMS	06-Noreste	AUT	54	188
3	Compañía Eólica La Mesa	TAMS	06-Noreste	AUT	50	92
4	Compañía Eoloeléctrica de Ciudad Victoria	TAMS	06-Noreste	AUT	50	186
5	Desarrollos Eólicos Mexicanos de Oaxaca 1	OAX	02-Oriental	AUT	90	219
6	Desarrollos Eólicos Mexicanos de Oaxaca 2, Parque Eólico Piedra Larga Fase 2	OAX	02-Oriental	AUT	138	373
7	Dominica Energía Limpia	SLP	03-Occidental	AUT	200	367
8	Eléctrica del Valle De México	OAX	02-Oriental	AUT	68	168
9	Energía Limpia de Palo Alto	JAL	03-Occidental	AUT	200	197
10	Eoliatec del Istmo	OAX	02-Oriental	AUT	164	458
11	Eoliatec del Pacífico	OAX	02-Oriental	AUT	160	425
12	Eólica de Arriaga	CHIS	02-Oriental	AUT	32	75
13	Eólica de Coahuila	COAH	06-Noreste	AUT	200	625
14	Eólica Dos Arbolitos	OAX	02-Oriental	AUT	70	199
15	Eólica El Retiro	OAX	02-Oriental	AUT	74	173
16	Eólica Los Altos	JAL	03-Occidental	AUT	65	172
17	Eólica Santa Catarina	NL	06-Noreste	AUT	22	37
18	Eólica Tres Mesas	TAMS	06-Noreste	AUT	62.7	204
19	Eólica Tres Mesas 2	TAMS	06-Noreste	AUT	86	240
20	Eólica Zopiloapan	OAX	02-Oriental	AUT	70	205
21	Eurus	OAX	02-Oriental	AUT	251	803
22	Fuerza Eólica del Istmo	OAX	02-Oriental	AUT	80	116
23	Fuerza y Energía Bii Hioxo	OAX	02-Oriental	AUT	234	647
24	Generadores Eólicos de México	CHIS	02-Oriental	AUT	19	1
25	MPG La Bufa	ZAC	03-Occidental	AUT	180	0
26	Municipio de Mexicali	BC	08-Baja California	AUT	10	25
27	Parques Ecológicos de México	OAX	02-Oriental	AUT	102	244
28	PE Ingenio	OAX	02-Oriental	AUT	50	188
29	PIER II Quecholac Felipe Ángeles	PUE	02-Oriental	AUT	66	200
30	Stipa Nayaa	OAX	02-Oriental	AUT	74	215
31	Ventika	NL	06-Noreste	AUT	126	475

32	Ventika II	NL	06-Noreste	AUT	126	497
33	Vientos del Altiplano	ZAC	06-Noreste	AUT	140	103
34	Energía Sierra Juárez	BC	08-Baja California	EXP	156	453
35	Energía Sonora PPE	SON	04-Noroeste	GEN	2	4
36	La Venta I-II	OAX	02-Oriental	GEN-CFE	84	103
37	Puerto Viejo (Guerrero Negro)	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	1	0
38	Yuumil' iik	QR	07-Peninsular	GEN-CFE	2	2
39	Instituto de Investigaciones Electricas	OAX	02-Oriental	P.P.	5	0
40	CE Oaxaca Cuatro, Oaxaca IV	OAX	02-Oriental	PIE	102	381
41	CE Oaxaca Dos, Oaxaca II	OAX	02-Oriental	PIE	102	344
42	CE Oaxaca Tres, Oaxaca III	OAX	02-Oriental	PIE	102	307
43	Energías Ambientales de Oaxaca, Oaxaca I	OAX	02-Oriental	PIE	102	266
44	Energías Renovables La Mata, La Mata (Sureste I fase II)	OAX	02-Oriental	PIE	102	317
45	Energías Renovables Venta III, La Venta III	OAX	02-Oriental	PIE	103	256
Total³⁷					4,199	10,620

Las centrales eólicas aprovechan la energía cinética del viento para producir electricidad mediante turbinas eólicas (aerogeneradores). Un aerogenerador o turbina eólica es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica que impulsa un generador para producir electricidad.

Los aerogeneradores empiezan a funcionar cuando el viento alcanza una velocidad de tres a cuatro metros por segundo (m/s), y alcanzan su producción máxima con velocidades de 13 a 14 m/s.

El factor de planta para este tipo de centrales oscila entre 20% y 43%. Debido a que su capacidad es función de la velocidad del viento, no es posible que funcionen por largos periodos a su capacidad máxima.

La tecnología eólica tiene un despliegue importante debido a su rápido desarrollo tecnológico y disminución de costos, lo que la convierte una la energía renovable de gran crecimiento y demanda mundial. En 2017, la energía eólica presento un incremento de 10% en la capacidad instalada en el mundo, respecto a la existente en el año anterior.

La capacidad de los aerogeneradores ha aumentado gracias a los avances tecnológicos, llegando a aproximarse a los 10 MW por unidad para aplicaciones offshore o marinas.

En México se estima un potencial eólico de al menos 15,000 MW, el mayor volumen del recurso aprovechable se ubica en las regiones Oriental (Oaxaca), Peninsular, Baja California, Noroeste (Sonora) y Noreste (Tamaulipas) en las cuales, la velocidad del viento alcanza hasta los 12 m/s durante los meses de enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre.

2.3.3 Geotérmica

México cuenta con ocho centrales Geotermoeléctrica, que representan el 1.2% de la Capacidad total (926 MW) y el 1.8% de la generación de electricidad del país (6,041 GWh) (ver Figura 2.18 y Tabla 2.15).



Figura 2.18 Capacidad y Generación en Centrales Geotermoeléctricas en 2017.

Tabla 2.15 Centrales de Generación Geotermoeléctrica en 2017.

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta ^{2/} (GWh)
1	Geotérmica para el Desarrollo	NAY	03-Occidental	AUT	52	153
2	Cerro Prieto I	BC	08-Baja California	GEN-CFE	30	232
3	Cerro Prieto II	BC	08-Baja California	GEN-CFE	220	1,426
4	Cerro Prieto III	BC	08-Baja California	GEN-CFE	220	1,007
5	Cerro Prieto IV	BC	08-Baja California	GEN-CFE	100	859
6	Los Azufres	MICH	03-Occidental	GEN-CFE	225	1,760
7	Los Humeros	PUE	02-Oriental	GEN-CFE	69	557
8	Tres Vírgenes	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	10	47
Total^{3/}					926	6,041

La geotermia actualmente se aprovecha en los campos geotérmicos ubicados en los estados de Baja California, Baja California Sur, Michoacán y Puebla, los dos últimos se localizan en el Eje Volcánico Transversal, zona volcánica en la cual se concentra el recurso geotérmico del país para su aprovechamiento en la generación eléctrica.

Con la entrada en vigor de la nueva Ley de Energía Geotérmica y su Reglamento, la industria se ha visto renovada por el interés en el desarrollo y aprovechamiento de los recursos geotérmicos del país, a través de la exploración y explotación de los yacimientos geotérmicos.

Durante 2015 se otorgaron seis concesiones para la explotación de zonas geotérmicas y 15 permisos de exploración de recursos geotérmicos, ubicados en los estados de Baja California, Baja California Sur, Chiapas, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit y Puebla. En 2016 se otorgaron cinco permisos de exploración de recursos geotérmicos (ver Figura 2.19).



Figura 2.19 Permisos y Concesiones Otorgados en Geotermia.

México se ubica dentro de los primeros seis países con mayor capacidad instalada en unidades Geotermoeléctricas, junto con Estados Unidos de América, Filipinas, Indonesia, Turquía y Nueva Zelanda.

Las centrales geotérmicas operan con el mismo principio que las centrales convencionales, con la diferencia de que estas obtienen el vapor del subsuelo. El vapor geotérmico se envía a un separador de humedad para transformar la energía cinética en mecánica, cuyo movimiento se transmite al generador para producir electricidad.

La geotermia es una energía renovable que normalmente proporciona la generación de carga base, ya que su operación no se ve afectada por variaciones climatológicas o estacionales a diferencia de otras tecnologías renovables intermitentes. (2 pág. 30)

2.3.4 Solar

El país cuenta con 23 centrales fotovoltaicas en operación, mismas que representan menos del 0.4% de la capacidad total (214 MW) y el 0.1% de la generación eléctrica en 2017 (344 GWh).

El 75.2% de la capacidad instalada nacional se ubica en cuatro estados: Baja California Sur, Durango, Chihuahua y el Estado de México (ver Figura 2.20 y Tabla 2.16).



Figura 2.20 Capacidad y Generación en Centrales de Generación Solar en 2017.

En el mundo, el 68% de la capacidad instalada y el 59% de la generación eléctrica en plantas fotovoltaicas se concentran en Alemania, China, Japón y Estados Unidos de América.

El panorama mundial muestra un crecimiento acelerado en el uso de la energía solar fotovoltaica, ya que más del 55% de total de la capacidad de esta tecnología en el mundo se instaló en los últimos cuatro años.

La tecnología de una planta solar consiste en la conversión de la luz solar en electricidad por medio de un dispositivo semiconductor (celdas fotovoltaicas) o bien, mediante concentradores solares que elevan la temperatura de un fluido que pasa a una turbina conectada a un generador para producir electricidad.

La energía solar fotovoltaica es una tecnología que no requiere el uso de combustibles, por lo que puede ser utilizada cerca de los centros de consumo reduciendo la congestión del sistema eléctrico. Su dependencia del recurso solar provoca intermitencia en la generación, no obstante, la disponibilidad del recurso es altamente predecible respecto a otras fuentes intermitentes, con auxilio de tecnologías de pronóstico existentes.

Tabla 2.16 Centrales de Generación Solar en 2017.

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta ^{2/} (GWh)
1	Autoabastecimiento Renovable	AGS	03-Occidental	AUT	1	1
2	Coppel	SON	04-Noroeste	AUT	1	2
3	Ecopur	GTO	03-Occidental	AUT	3	1
4	Generadora Solar Apaseo	GTO	03-Occidental	AUT	1	2
5	Iusasol 1	MEX	01-Central	AUT	18	43
6	Iusasol Base	MEX	01-Central	AUT	1	1
7	Los Santos Solar I	CHIH	05-Norte	AUT	20	16
8	Oomapas Nogales	SON	04-Noroeste	AUT	1	1
9	Parque Solar Coahuila	COAH	05-Norte	AUT	20	9
10	Plamex	BC	08-Baja California	AUT	1	1
11	Prosolia Internacional de México	QRO	03-Occidental	AUT	1	1
12	Fortius Electromecánica	JAL	03-Occidental	GEN	8	3
13	Parque Solar Villanueva Tres	COAH	06-Noreste	GEN	10	4
14	Productora Yoreme	SON	04-Noroeste	GEN	1	1
15	Tai Durango Cinco	DGO	05-Norte	GEN	30	61
16	Tai Durango Cuatro	DGO	05-Norte	GEN	6	12
17	Tai Durango Dos	DGO	05-Norte	GEN	6	12
18	Tai Durango Tres	DGO	05-Norte	GEN	4	8
19	Cerro Prieto	BC	08-Baja California	GEN-CFE	5	8
20	Sta. Rosalia (Tres Vírgenes)	BCS	10-Mulegé	GEN-CFE	1	2
21	Avant Energías Renovables I	CHIH	05-Norte	P.P.	29	61
22	Servicios Comerciales de Energía	BCS	09-Baja California Sur	P.P.	30	70
23	Tai Durango Uno	DGO	05-Norte	P.P.	16	25
Total^{1/}					214	344

En los próximos años, se pronostica una mayor participación de esta tecnología en la matriz de generación en México, debido a la disminución de costos provocada por el desarrollo tecnológico, la apertura del mercado eléctrico, la comercialización de instrumentos que fomenten la inversión en Energías Limpias, así como la mayor competitividad en el mercado eléctrico.

En el país existen recursos disponibles en diversas zonas para explotar esta tecnología, como sucede en las regiones Noroeste y Baja California, en las cuales la radiación solar permite generar hasta 8.5 KWh por metro cuadrado en un día, durante los meses de abril a agosto. En promedio, México recibe 2,190 horas de irradiación por año, principalmente en los estados de Baja California, Coahuila, Chihuahua y Sonora.

2.3.5 Bioenergía

México cuenta con 77 plantas generadoras, que representan el 1.3% de la capacidad total instalada (1,007 MW) del país y emplearon algún tipo de biocombustible para producir 1,884 GWh durante el 2017.

Los estados de Veracruz, Jalisco y San Luis Potosí concentran el 53.9% de la capacidad total de esta tecnología debido al aprovechamiento de los residuos orgánicos en los ingenios azucareros y del procesamiento de los residuos sólidos urbanos (ver Figura 2.21 y Tabla 2.17).

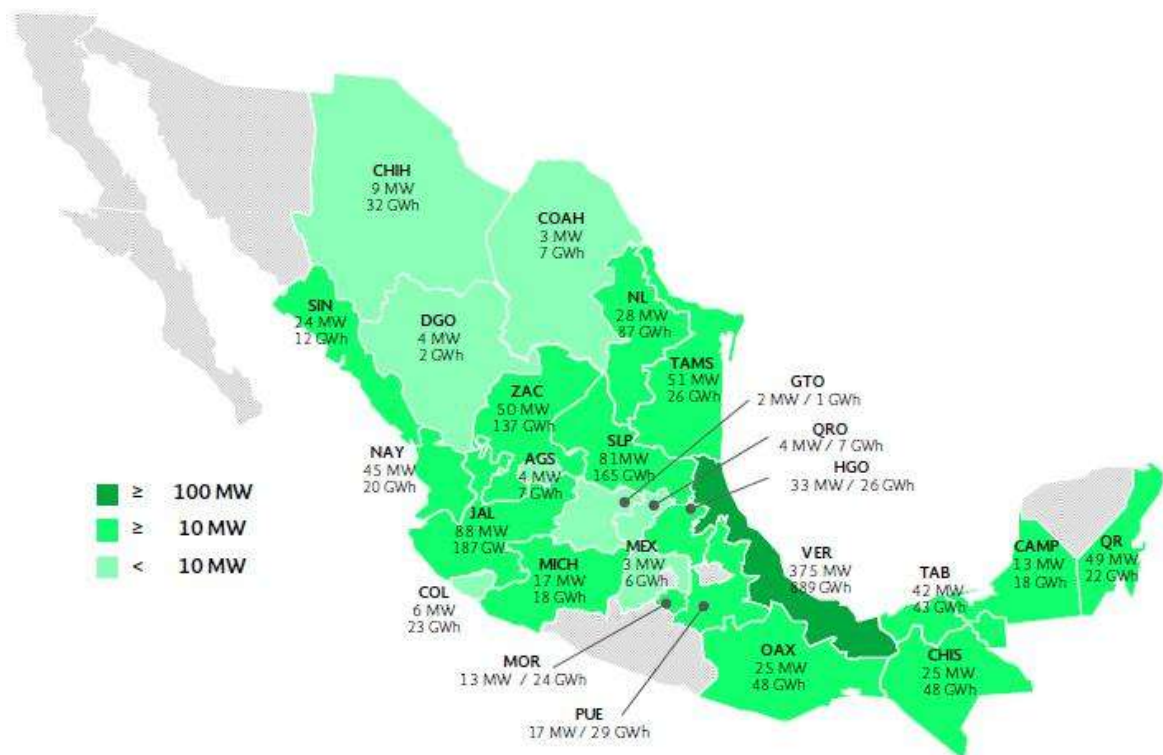


Figura 2.21 Capacidad y Generación en Centrales de Bioenergía en 2017.

Tabla 2.17 Centrales de Generación con Bioenergía en 2017.

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^U	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta ^V (GWh)
1	Azuremex	TAB	02-Oriental	AUT	3	2
2	BSM Energía De Veracruz	VER	02-Oriental	AUT	13	30
3	Compañía Azucarera de Los Mochis	SIN	04-Noroeste	AUT	14	5
4	Compañía Azucarera del Río Guayalejo	TAMS	06-Noreste	AUT	46	17
5	Compañía Azucarera La Fé	CHIS	02-Oriental	AUT	13	25
6	Cooperativa La Cruz Azul	AGS	03-Occidental	AUT	1	0
7	Degremont	CHIH	05-Norte	AUT	1	1
8	Ecosys III	GTO	03-Occidental	AUT	2	1
9	Empacadora San Marcos	PUE	02-Oriental	AUT	1	0
10	Energía Láctea	CHIH	05-Norte	AUT	1	0
11	Fideicomiso Ingenio Plan de San Luis	SLP	06-Noreste	AUT	9	27
12	Grupo Azucarero San Pedro	VER	02-Oriental	AUT	10	16
13	Impulsora de la Cuenca del Papaloapan	VER	02-Oriental	AUT	24	35
14	Ingenio Adolfo López Mateos	OAX	02-Oriental	AUT	14	18
15	Ingenio Alianza Popular	SLP	06-Noreste	AUT	6	19
16	Ingenio El Higo	VER	06-Noreste	AUT	22	49
17	Ingenio El Mante	TAMS	06-Noreste	AUT	6	9
18	Ingenio El Molino	NAY	03-Occidental	AUT	10	13
19	Ingenio Eldorado	SIN	04-Noroeste	AUT	10	7

20	Ingenio Melchor Ocampo	JAL	03-Occidental	AUT	6	15
21	Ingenio Presidente Benito Juárez	TAB	02-Oriental	AUT	14	16
22	Ingenio San Francisco Ameca_AUT	JAL	03-Occidental	AUT	5	13
23	Ingenio San Miguelito	VER	02-Oriental	AUT	5	7
24	Ingenio San Rafael de Pucté	QR	07-Peninsular	AUT	49	22
25	Ingenio Tala	JAL	03-Occidental	AUT	12	3
26	Ingenio Tamazula	JAL	03-Occidental	AUT	10	34
27	Ingenio Tres Valles	VER	02-Oriental	AUT	12	96
28	Kimberly-Clark de México	VER	02-Oriental	AUT	10	0
29	Lorean Energy Group	COAH	06-Noreste	AUT	2	1
30	Nacional Financiera_AUT	MOR	01-Central	AUT	9	16
31	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, Gobierno del Estado de Nuevo León, Planta Dulces Nombres	NL	06-Noreste	AUT	9	0
32	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, Gobierno del Estado de Nuevo León, Planta Norte	NL	06-Noreste	AUT	2	0
33	Sociedad Autoabastecedora de Energía Verde de Aguascalientes, S. De R. L. De C. V.	AGS	03-Occidental	AUT	3	6
34	TMQ Generación Energía Renovable.	QRO	03-Occidental	AUT	3	2
35	Transformadora de Energía Eléctrica de Juárez	CHIH	05-Norte	AUT	6	31
36	Atlatec	QRO	03-Occidental	COG	1	5
37	Atlatec, Planta El Ahogado	JAL	03-Occidental	COG	3	6
38	Bio Pappel, Planta Atenquique	JAL	03-Occidental	COG	16	36
39	Bioeléctrica de Occidente	NAY	03-Occidental	COG	35	8
40	Bioenergía de Nuevo León	NL	06-Noreste	COG	17	87
41	Conservas La Costeña y Jugomex	MEX	01-Central	COG	1	5
42	Destilería del Golfo	VER	02-Oriental	COG	8	14
43	Energía Renovable de Cuautla	MOR	01-Central	COG	1	3
44	GAT Energía	VER	02-Oriental	COG	45	135
45	Huixtla Energía	CHIS	02-Oriental	COG	12	24
46	Ideal Saneamiento de Saltillo	COAH	06-Noreste	COG	1	6
47	Piasa Cogeneración	VER	02-Oriental	COG	40	161
48	Tala Electric	JAL	03-Occidental	COG	25	80
49	Tampico Renewable Energy	VER	06-Noreste	COG	40	186
50	Aguas Tratadas del Valle de México,	HGO	01-Central	GEN	33	26
51	Energreen Energía Pl	MEX	01-Central	GEN	2	0
52	Granja Generadora de Energía Solar	DGO	05-Norte	GEN	2	0
53	Granjas Carroll de México, Central Cuyuaco	PUE	02-Oriental	GEN	1	0
54	Impulsora Azucarera del Trópico	CAMP	07-Peninsular	GEN	13	18
55	Ingenio Lázaro Cárdenas	MICH	03-Occidental	GEN	8	9
56	Renova Atlatec	JAL	03-Occidental	GEN	11	0
57	Ylem Energy	DGO	05-Norte	GEN	2	2
58	Central Motzorongo	VER	02-Oriental	U.P.C.	20	20
59	Compañía Cervecera de Zacatecas	ZAC	03-Occidental	U.P.C.	50	137
60	Compañía Industrial Azucarera	VER	02-Oriental	U.P.C.	6	12
61	Fideicomiso Ingenio Atencingo	PUE	02-Oriental	U.P.C.	15	29
62	Fideicomiso Ingenio La Providencia	VER	02-Oriental	U.P.C.	7	13
63	Fomento Azucarero del Golfo	VER	06-Noreste	U.P.C.	18	1
64	Ingenio El Carmen	VER	02-Oriental	U.P.C.	7	10
65	Ingenio El Modelo	VER	02-Oriental	U.P.C.	9	15

66	Ingenio El Potrero	VER	02-Oriental	U.P.C.	10	20
67	Ingenio El Refugio	OAX	02-Oriental	U.P.C.	4	0
68	Ingenio La Gloria	VER	02-Oriental	U.P.C.	53	9
69	Ingenio La Margarita	OAX	02-Oriental	U.P.C.	7	29
70	Ingenio Mahuixtlán	VER	02-Oriental	U.P.C.	3	5
71	Ingenio Plan De Ayala	SLP	06-Noreste	U.P.C.	16	14
72	Ingenio Quesería	COL	03-Occidental	U.P.C.	6	23
73	Ingenio San Miguel del Naranjo	SLP	03-Occidental	U.P.C.	49	105
74	Ingenio San Nicolás	VER	02-Oriental	U.P.C.	14	54
75	Ingenio Santa Clara	MICH	03-Occidental	U.P.C.	9	9
76	Nacional Financiera_UPC	MOR	01-Central	U.P.C.	3	6
77	Santa Rosalía de La Chontalpa	TAB	02-Oriental	U.P.C.	25	26
Total^{B/}					1,007	1,884

La generación de electricidad por biomasa y residuos representa el 2% del total de electricidad en el mundo. Estados Unidos de América, Brasil y Alemania concentran alrededor del 40% de la electricidad generada por esta tecnología.

La bioenergía es la energía derivada de la conversión de biomasa, la cual puede ser utilizada directamente como combustible o transformada en líquidos y gases (biogás) que a su vez se utilizan en la generación de electricidad, a través de un proceso convencional.

La biomasa es un compuesto orgánico cuya materia deriva de las actividades agrícola, pecuaria, silvícola, acuicultura, algacultura, residuos de la pesca, residencial, comercial, industrial, de microorganismos y de enzimas.

2.3.6 Cogeneración Eficiente

Las 30 centrales en operación acreditadas por la CRE como cogeneración eficiente representaron el 1.7% de la capacidad instalada (1,251 MW) y generaron el 2.1% de la electricidad en 2017 (6,932 GWh) (ver Figura 2.22 y Tabla 2.18).

La mayor capacidad disponible se ubica en Veracruz y Tabasco, con 767 MW (61.3% del total de la tecnología) y representan el 70.8% de la generación de electricidad mediante esta tecnología certificada ante la CRE.

La cogeneración eficiente representa solo el 9% de la capacidad instalada a nivel mundial, el cual se ha mantenido en la última década; sin embargo, países como Dinamarca y Finlandia han logrado una participación de esta tecnología en la generación de electricidad, de alrededor del 60% y 40%, respectivamente

La cogeneración se define como la producción secuencial de energía eléctrica y de energía térmica aprovechable en los procesos industriales y comerciales a partir de la misma fuente de combustible.



Figura 2.22 Capacidad y Generación en Centrales de Cogeneración Eficiente en 2017.

Tabla 2.18 Centrales de Generación de Cogeneración eficiente en 2017.

No.	Nombre	Entidad Federativa	Región de Control	Esquema ^{1/}	Capacidad Total (MW)	Generación Bruta ^{2/} (GWh)
1	CE G. Sanborns 2	CDMX	01-Central	COG	1	7
2	CE G. Sanborns Perisur	CDMX	01-Central	COG	1	4
3	CE G. Sanborns Satélite	MEX	01-Central	COG	1	7
4	Ce G. Sanborns	CDMX	01-Central	COG	1	6
5	Celulosa y Papel del Bajío	GTO	03-Occidental	COG	2	10
6	Cogeneración de Energía Limpia de Cosoleacaque	VER	02-Oriental	COG	118	529
7	Energía Infra	VER	02-Oriental	COG	145	953
8	Energía MK KF	TAMS	06-Noreste	COG	36	283
9	Energía San Pedro	NL	06-Noreste	COG	2	0
10	Enerkin	YUC	07-Peninsular	COG	13	87
11	Fábrica de Papel San Francisco	BC	08-Baja California	COG	23	183
12	Iberdrola Cogeneración Altamira	TAMS	06-Noreste	COG	61	53
13	Iberdrola Cogeneración Bajío	QRO	03-Occidental	COG	62	6
14	Iberdrola Cogeneración Ramos	COAH	06-Noreste	COG	60	356
15	Igsapak Cogeneración	HGO	01-Central	COG	60	281
16	Industrias de Hule Galgo	HGO	01-Central	COG	7	17
17	Papeles y Conversiones de México	NL	06-Noreste	COG	5	19
18	Pemex-Gas y Petroquímica Básica, Complejo Procesador de Gas Nuevo Pemex	TAB	02-Oriental	COG	367	2,703
19	Productora de Papel	NL	06-Noreste	COG	18	75
20	Productos Alimenticios La Moderna	JAL	03-Occidental	COG	4	13
21	Productos Farmacéuticos	AGS	03-Occidental	COG	4	28
22	Promax Energía	NL	06-Noreste	COG	16	82
23	Sánchez	CDMX	01-Central	COG	2	8
24	Sistemas Energéticos Sisa	VER	02-Oriental	COG	64	323
25	Sistemas Energéticos Sisa, Planta II	VER	02-Oriental	COG	64	372
26	Sky EPS Supply SM	PUE	02-Oriental	COG	20	169
27	Sky EPS Supply	PUE	02-Oriental	COG	27	174
28	Tlalnepantla Cogeneración	MEX	01-Central	COG	28	115
29	Unión Energética del Noroeste	SON	04-Noroeste	COG	30	37
30	Lesaffre Energías Mexicanas	VER	02-Oriental	GEN	9	32
Total^{3/}					1,251	6,932

En la Ley de Transición Energética (LTE), publicada el 24 de diciembre de 2015, se considera como cogeneración a la generación de energía eléctrica producida conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria o ambos; la producción directa o indirecta de energía eléctrica mediante la energía térmica no aprovechada en los procesos, o la generación directa o indirecta de energía eléctrica cuando se utilicen combustibles producidos en los procesos.

En este sentido, la cogeneración conlleva a ahorros de combustible y mayor eficiencia en la producción de energía, al reducir las pérdidas de transporte de la electricidad por el aprovechamiento simultáneo de la energía.

Cabe señalar que la cogeneración se considera como Energía Limpia siempre y cuando califique como cogeneración eficiente en términos de la regulación que al efecto expida la CRE.

La producción de electricidad mediante la cogeneración es predecible y garantizada, a diferencia de la eólica y la solar, además tiene la capacidad de cubrir la demanda pico. (2 pág. 32)

Capítulo 3

Centrales Termoeléctricas

3.1 Introducción

Una central termoeléctrica, también conocida como planta de generación termoeléctrica, es un sistema constituido para generar energía eléctrica mediante la liberación de calor, por quema de combustibles fósiles.

El mecanismo empleado en la actualidad para generar energía eléctrica a partir de combustibles fósiles consiste, en esencia, en tres fases: quema de combustible, accionamiento de turbinas y accionamiento del generador eléctrico.

- 1) Quema de combustible es la Transformación de energía química en energía térmica.
- 2) Accionamiento de las turbinas mediante el generador eléctrico sujeto a la turbina es la Transformación en energía eléctrica.
- 3) Accionamiento del generador eléctrico sujeto a la turbina es la Transformación en energía eléctrica.

Los combustibles fósiles son aquellos formados hace millones de años debido a la degradación de residuos orgánicos en tiempos primigenios. Algunos ejemplos de combustibles fósiles son el petróleo (incluye sus derivados), carbón y gas natural.

Mediante este método funcionan, a grandes rasgos, la gran mayoría de las centrales termoeléctricas convencionales a nivel mundial.

Una central termoeléctrica tiene una infraestructura y características muy específicas, para poder cumplir con el propósito de generación eléctrica de la manera más eficiente y con el menor impacto ambiental posible.

Una central termoeléctrica está conformada por una compleja infraestructura que abarca sistemas de depósitos de combustibles, calderas, mecanismos de refrigeración, turbinas, generadores y sistemas de transmisión eléctrica. (3)

3.2 Elementos de una Central Termoeléctrica

Las centrales termoeléctricas han sido y son las principales fuentes de energía eléctrica en México y en el mundo. (4)

Este tipo de centrales funciona a partir del ciclo Rankine, el cual es un ciclo termodinámico donde el combustible es quemado en una caldera con agua para convertirla en vapor de

agua sobrecalentada, para después expandirse en una turbina y liberar parte de la energía almacenada en el vapor y luego pasar por un condensador para finalmente entrar de nuevo en la caldera, como se muestra en la figura 3.1.

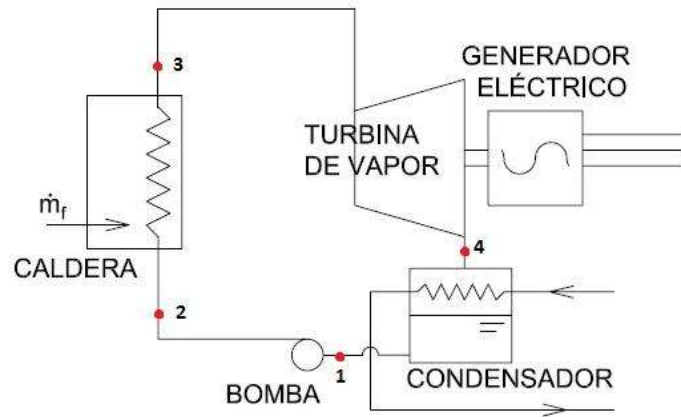


Figura 3.1 Diagrama de Central Termoeléctrica.

La eficiencia de este ciclo puede ser mejorado al introducir, ya sea ciclos de recalentamiento o ciclos regenerativos. Para un ciclo de recalentamiento es necesario extraer el vapor de un punto adecuado de la turbina para ser recalentado a la misma temperatura con la que entro a la turbina, pero con una presión mayor debido a la expansión provocada en el primer paso de generación, este tipo de ciclo es utilizado cuando se tiene una presión alta en el vapor de agua. (5)

El ciclo regenerativo consta de utilizar el calor remanente del vapor de agua para precalentar el condensado antes de que entre a la caldera. Esto es realizado extrayendo vapor de agua en puntos específicos de la turbina, al igual que el ciclo de recalentamiento, pero este entra en intercambiadores de calor los cuales:

- Elevan la temperatura del combinado
- Llevan al vapor de agua a una temperatura adecuada para entrar a la bomba. (6)

Todas las plantas termodinámicas cuentan con un equipo básico de operación, el cual permite generar electricidad a partir de un combustible. Este equipo es:

- Un horno para quemar el combustible
- Una caldera con agua para transformarla a vapor
- Una unidad de transformación de energía como un motor o una turbina
- Un sistema de tuberías para transportar el vapor y el condensado.

Sin embargo, existen variaciones del equipo necesario dependiendo del combustible utilizado, tales como circuitos de agua de enfriamiento, colectores de gases, circuito de

carbón y cenizas, etc. Además es necesario colocar equipo adicional al utilizar alguno de los ciclos mencionados anteriormente, como intercambiadores de calor, bombas adicionales, o turbinas de más baja presión que la turbina principal.

No obstante, se profundiza más en los elementos principales de la central, el generador de vapor, la turbina y el condensador.

3.2.1 Generador de Vapor

Un generador de vapor es un dispositivo que crea vapor de agua a una tasa, presión y temperatura deseada al quemar combustible en un horno. Estos son utilizados en centrales a base de combustible fósiles y en centrales nucleares. Estos son una integración compleja entre el horno, un supercalentador, un recalentador, un evaporador, un economizador, un precalentador de aire y otros auxiliares, y estos deben de cumplir con los siguientes requerimientos:

- Seguridad: Debe de ser seguro en condiciones operacionales
- Accesibilidad: Múltiples partes del generador deben de ser accesibles para su mantenimiento
- Capacidad: El generador debe de ser capaz de suministrar el vapor en las condiciones deseadas
- Eficiencia: Debe de absorber una cantidad máxima de calor producida por la quema del combustible en el horno. (7)

Los generadores de vapor tienen la siguiente clasificación dependiendo de la forma en la cual es inyectado el calor en el condensador:

- Calderas acuotubulares: En este tipo de calderas, el agua circula a través de tubos y los gases de la combustión circulan alrededor de estos tubos, esto provoca que la presión sea colocada en los tubos y los tambores relativamente pequeños, por lo que pueden soportar presiones extremas. Requieren menos peso en relación a las calderas humitubulares, son menos propensas a explotar, pueden producir vapor a una mayor presión, son accesibles y pueden responder a cambios bruscos de vapor.
- Calderas humitubulares: Estas calderas cuentan con tubos internos por los cuales circulan los gases de combustión calientes, y el condensador rodea los tubos para extraer el calor de estos. Las calderas humitubulares cuentan con un costo inicial bajo y son más compactas, sin embargo, son propensas a explotar, y requieren un volumen alto de agua debido a la baja circulación de esta, por lo que no pueden proporcionar cambios bruscos de vapor, además de requerir una armazón mucho más gruesa en comparación de una caldera acuotubulares. Estas pueden tener la combustión de combustible externamente o internamente. (5)

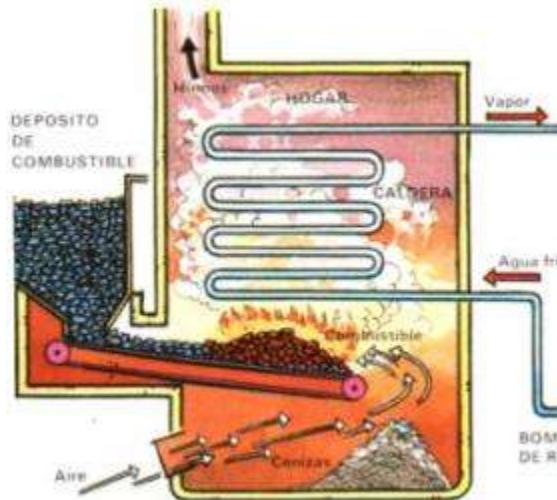


Figura 3.2 Generador de Vapor

3.2.2 Turbina de Vapor

La turbina de vapor es el primo motor que continuamente convierte la energía del vapor a alta temperatura y presión en trabajo angular, dejando vapor de baja temperatura para ser llevado al condensador. Esta conversión ocurre en dos pasos:

- El vapor sobrecalentado se expande en boquillas y sale a alta velocidad
- Los chorros de vapor a alta velocidad golpean los álabes de la turbina, los cuales están montados sobre una flecha, los cuales producen un par con el choque del vapor. (6)

Al igual que los generadores de vapor, las turbinas tienen múltiples clasificaciones:

- Turbina de impulso: si el flujo de vapor a través de las boquillas y los álabes de la turbina se realiza de tal modo que el vapor se expande solamente en las boquillas y la presión es constante en toda la turbina, se trata de una turbina de impulso.
- Turbina de impulso-reacción: en estas turbinas, existen cambios de presión en las boquillas y en la turbina. Este cambio de presión en los álabes produce una generación extra de energía cinética, y produce una mayor fuerza en la flecha de la turbina.
- Turbina axial: En este tipo de turbinas, el flujo de vapor es de modo radial. Esta incorpora dos flechas, cada una conectada a un generador independiente y a un disco fijo. Los dos juegos de álabes giran en dirección contraria entre sí, por lo que se produce una velocidad relativa del doble.
- Turbina tangencial: en este tipo de turbina, el flujo de vapor entra en dirección tangencial. Esta turbina es muy robusta, pero no muy eficiente. Las boquillas de esta turbina dirigen el vapor tangencialmente a hendiduras creadas en la periferia

de la turbina, y en la salida de esta hendidura entra a otra más, y este proceso se repite varias veces.

- Turbina condensadora: en esta turbina, el vapor es condensado en un condensador y este fluido es utilizado para alimentar el generador de vapor.
- Turbina no condensadora: en estas turbinas, el vapor de agua que sale de la turbina no es realimentado al generador de vapor, sino que es arrojado a la atmosfera.

En la figura 3.3 se muestra una turbina de vapor de una termoeléctrica la cual es utilizada para generar energía eléctrica mediante la inyección de vapor.

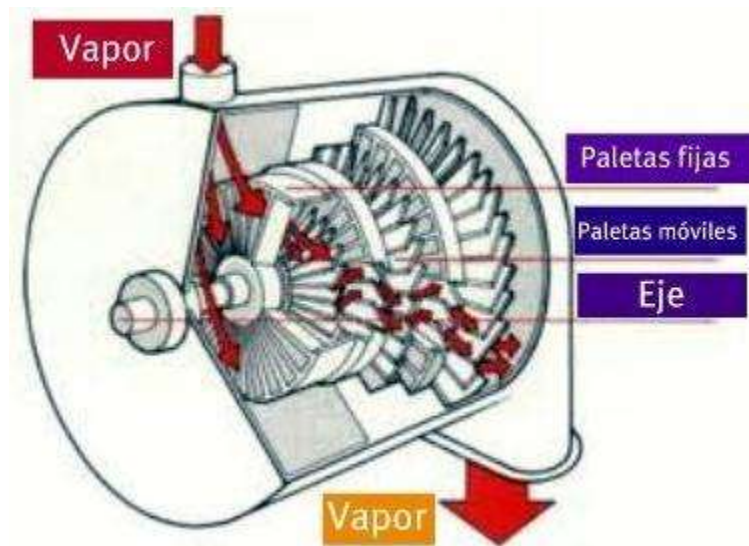


Figura 3.3 Turbina de Vapor

3.2.3 Condensador

Un condensador es un intercambiador térmico, en cual se pretende que el fluido que lo recorre cambie a fase líquida desde su fase gaseosa mediante el intercambio de calor (cesión de calor al exterior, que se pierde sin posibilidad de aprovechamiento) con otro medio.

La condensación se puede producir bien utilizando aire mediante el uso de un ventilador (aerocondensadores) o con agua (esta última suele ser en circuito semicerrado con torre de refrigeración, o en circuito abierto proveniente de un río o del mar). El tipo de condensador más empleado en centrales termoeléctricas es el que utiliza agua como fluido refrigerante, que además utiliza un circuito semiabierto de refrigeración con una torre evaporativa como sumidero del calor latente de vaporización.

Los aerocondensadores se utilizan cuando no se dispone de agua suficiente para alimentar una torre evaporativa. Aunque son más caros y provocan en el ciclo agua-vapor una pérdida de rendimiento, se utilizan cuando no existe otra posibilidad para condensar el vapor.

El propósito del condensador termodinámico es provocar el cambio de estado del vapor a la salida de la turbina para así obtener máxima eficiencia e igualmente obtener el vapor condensado en forma de agua pura de regreso al tren de generación de vapor.

Las razones para condensar el vapor son tres:

- Se aprovecha el vapor a la salida de la turbina, cerrando el ciclo del agua
- Se reduce la presión a la salida, incluso por debajo de la atmosférica, con lo que el salto de presión es mayor y por lo tanto el rendimiento y la potencia de la turbina aumentan
- El posterior aumento de presión del fluido puede realizarse en una bomba hidráulica, con un consumo energético menor que si se realiza en una caldera o en un compresor

Adicionalmente, el condensador recibe los siguientes flujos:

- Las purgas de los calentadores y otros elementos, que una vez enfriadas son incorporadas al circuito de condensado.
- El aire que procede de entradas furtivas en los diversos elementos del ciclo agua-vapor, a través de los cierres de la turbina de vapor o con el agua de reposición al ciclo. Éste debe ser extraído y enviado al exterior mediante eyectores o bombas de vacío.
- El vapor procedente del escape de la turbo-bomba de agua de alimentación si la hay en la instalación.
- El vapor de los by-pass de las turbinas, que en determinados modos de operación transitorios (arranques, paradas, disparos, cambios bruscos de carga) conducen directamente al condensador todo el vapor generador en la caldera una vez atemperado.
- El agua de aportación al ciclo para reponer las purgas, fundamentalmente la purga continúa. Esta agua es desmineralizada y proviene del tanque de reserva de condensado.

Las condiciones en el interior del condensador son de saturación, es decir, está a la presión de saturación correspondiente a la temperatura de condensación del vapor. Esta presión es siempre inferior a la atmosférica, es decir, se puede hablar de vacío. (8)

En la figura 3.4 se muestra un tipo de condensador el vapor que sale de la turbina a estado líquido para de nuevo mandarla a la caldera o en ocasiones dejarla libre hacia los océanos o lagos.

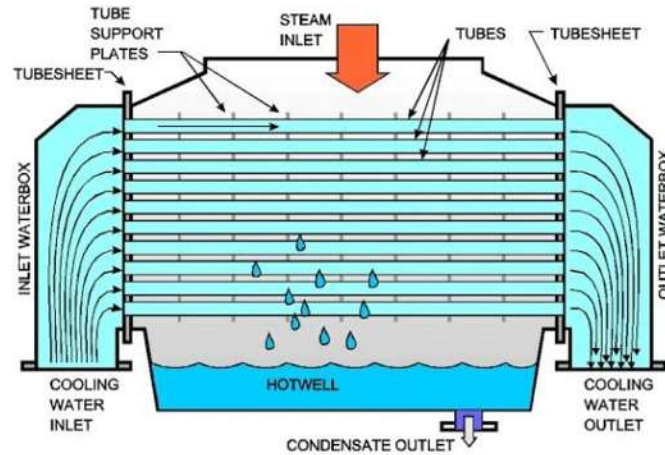


Figura 3.4 Condensador

3.3 Termoeléctrica Convencional

Este tipo de centrales tiene la configuración que se muestra en la figura 3.5. El ciclo Rankine es el ciclo ideal para las centrales eléctricas de vapor. El ciclo Rankine ideal no incluye ninguna irreversibilidad interna y está compuesto de los siguientes cuatro procesos:

- 1-2 Compresión isentrópica en una bomba
- 2-3 Adición de calor a presión constante en una caldera
- 3-4 Expansión isentrópica en una turbina
- 4-1 Rechazo de calor a presión constante en un condensador

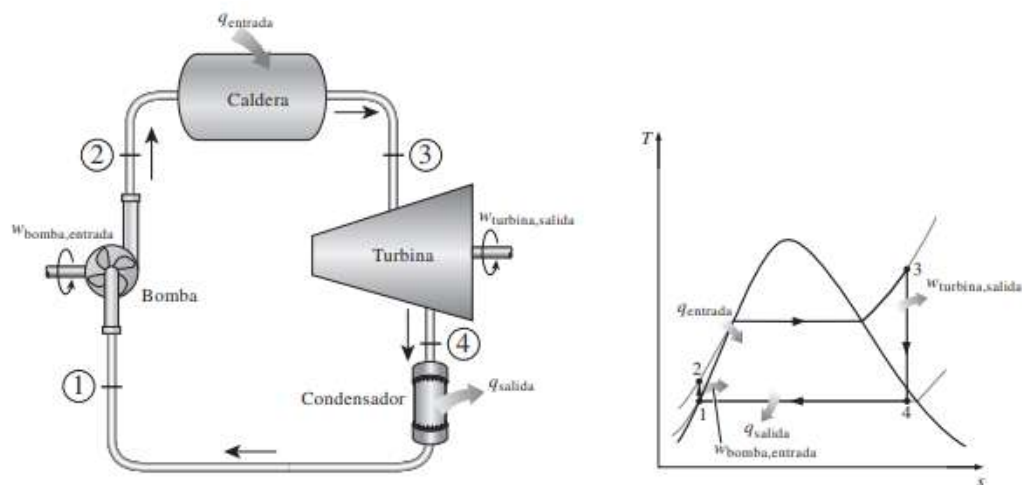


Figura 3.5 Ciclo Rankine Ideal

El agua entra a la bomba en el estado 1 como líquido saturado y se condensa isentrópicamente hasta la presión de operación de la caldera. La temperatura del agua aumenta un poco durante este proceso de compresión isentrópica debido a una ligera disminución en el volumen específico del agua. La distancia vertical entre los estados 1 y 2 en el diagrama T-s se exagera de manera considerable para mayor claridad.

El agua entra a la caldera como líquido comprimido en el estado 2 y sale como vapor sobrecalentado en el estado 3. La caldera es básicamente un gran intercambiador de calor donde el calor que se origina en los gases de combustión, reactores nucleares u otras fuentes, se transfiere al agua esencialmente a presión constante. La caldera, junto con la sección (sobrecalentador) donde el vapor se sobrecalienta, recibe el nombre de generador de vapor.

El vapor sobrecalentado en el estado 3 entra a la turbina donde se expande isentrópicamente y produce trabajo al hacer girar el eje conectado a un generador eléctrico. La presión y la temperatura del vapor disminuyen durante este proceso hasta los valores en el estado 4, donde el vapor entra al condensador. En este estado el vapor es por lo general un vapor húmedo con una alta calidad. El vapor se condensa a presión constante en el condensador, el cual es básicamente un gran intercambiador de calor, rechazando el calor hacia un medio de enfriamiento como un lago, un río o la atmósfera. El vapor sale del condensador como líquido saturado y entra a la bomba, completando el ciclo. En áreas donde el agua es muy valiosa, las centrales eléctricas son enfriadas con aire en lugar de agua. Este método de enfriamiento, que también se emplea en motores de automóvil, es conocido como enfriamiento seco. Varias centrales eléctricas en el mundo, incluidas algunas en Estados Unidos, utilizan enfriamiento seco para conservar el agua.

Recuerde que el área bajo la curva del proceso en un diagrama T-s representa la transferencia de calor para procesos internamente reversibles; y observe que el área bajo la curva del proceso 2-3 representa el calor transferido hacia el agua en la caldera y que el área bajo la curva del proceso 4-1 representa el calor rechazado en el condensador. La diferencia entre estas dos (el área encerrada por el ciclo) es el trabajo neto producido durante el ciclo. (9)

3.4 Termoeléctrica con Recalentamiento

El diagrama T-s del ciclo Rankine ideal con recalentamiento y el esquema de la central eléctrica que opera en este ciclo se muestran en la figura 3.6. El ciclo Rankine ideal con recalentamiento difiere del ciclo Rankine ideal simple en que el proceso de expansión sucede en dos etapas. En la primera (la turbina de alta presión), el vapor se expande isentrópicamente hasta una presión intermedia y regresa a la caldera donde se recalienta a presión constante, por lo general hasta la temperatura de entrada de la turbina de la primera etapa. Después, el vapor se expande isentrópicamente en la segunda etapa (turbina de baja presión) hasta la presión del condensador.

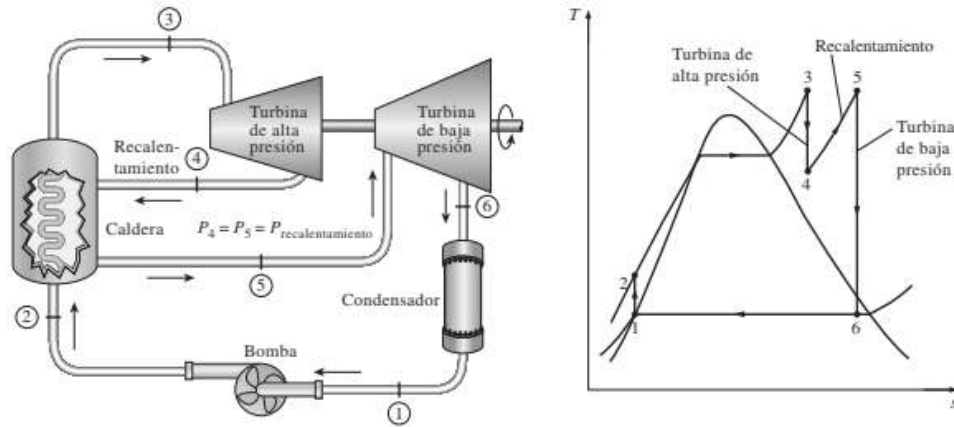


Figura 3.6 Ciclo Rankine con Recalentamiento.

La incorporación de un recalentamiento simple en una central eléctrica moderna mejora la eficiencia del ciclo en 4 o 5 por ciento, ya que se incrementa la temperatura promedio a la cual el calor se transfiere al vapor. La temperatura promedio durante el proceso de recalentamiento puede incrementarse aumentando el número de etapas de expansión y recalentamiento. Cuando se hace esto, los procesos de expansión y recalentamiento se acercan a un proceso isotérmico a la temperatura máxima, como se muestra en la figura. Sin embargo, el uso de más de dos etapas de recalentamiento no es práctico. El mejoramiento teórico en la eficiencia debido al segundo recalentamiento es cercano a la mitad del mejoramiento debido a un solo recalentamiento. Si la presión de entrada de la turbina no es lo suficientemente alta, el doble recalentamiento resulta en un escape sobrecalentado. Esto es indeseable por que causaría que la temperatura promedio para el rechazo de calor aumente y de esta manera la eficiencia del ciclo disminuya. Por lo tanto, el doble recalentamiento se utiliza solamente en centrales eléctricas de presión súper crítica ($P > 22.06 \text{ MPa}$). Una tercera etapa de recalentamiento incrementa la eficiencia del ciclo en casi la mitad de la mejora alcanzada por el segundo recalentamiento. Esta ganancia es tan pequeña que no justifica el costo y la complejidad adicionales.

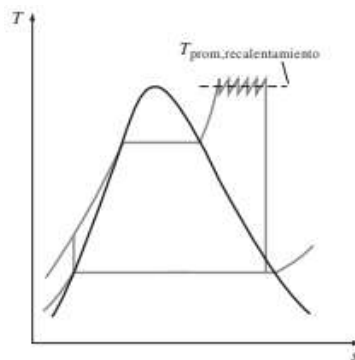


Figura 3.7 Ciclo Rankine con Más de Dos Etapas de Recalentamiento.

El ciclo de recalentamiento fue introducido a mediados de la década de 1920, pero fue abandonado en los años de 1930 debido a las dificultades operacionales. Con el tiempo, al final de los años de 1940 el aumento constante en las presiones de la caldera hizo necesario reintroducir un solo recalentamiento, así como el doble recalentamiento a principios de la década de 1950.

Las temperaturas de recalentamiento son muy cercanas o iguales a la temperatura de entrada a la turbina. La presión de recalentamiento óptima se acerca a un cuarto de la presión máxima del ciclo. (9)

3.5 Termoeléctrica con una Etapa Regenerativa

Un proceso de regeneración práctico en las centrales eléctricas de vapor se logra con la extracción o “drenado” o “purga” del vapor de la turbina en diversos puntos. Este vapor, que podría producir más trabajo si se expandiera aún más en la turbina, se utiliza en cambio para calentar el agua de alimentación. El dispositivo donde el agua de alimentación se calienta mediante regeneración se llama regenerador o calentador de agua de alimentación (CAA).

La regeneración no sólo mejora la eficiencia del ciclo, también proporciona un medio conveniente de desairear el agua de alimentación (al eliminar el aire que se filtra al condensador) para evitar la corrosión en la caldera. Así mismo, ayuda a controlar el gran flujo volumétrico del vapor en las etapas finales de la turbina (debido a los grandes volúmenes específicos a bajas presiones). Por consiguiente, la regeneración se utiliza en todas las centrales eléctricas de vapor modernas desde su introducción a principios de la década de 1920.

Un calentador del agua de alimentación es un intercambiador de calor donde éste se transfiere del vapor al agua de alimentación mediante la mezcla de ambos flujos de fluido (calentadores de agua de alimentación abiertos) o sin mezclarlos (calentadores de agua de alimentación cerrados). La regeneración con ambos tipos de calentadores de agua de alimentación se estudia a continuación.

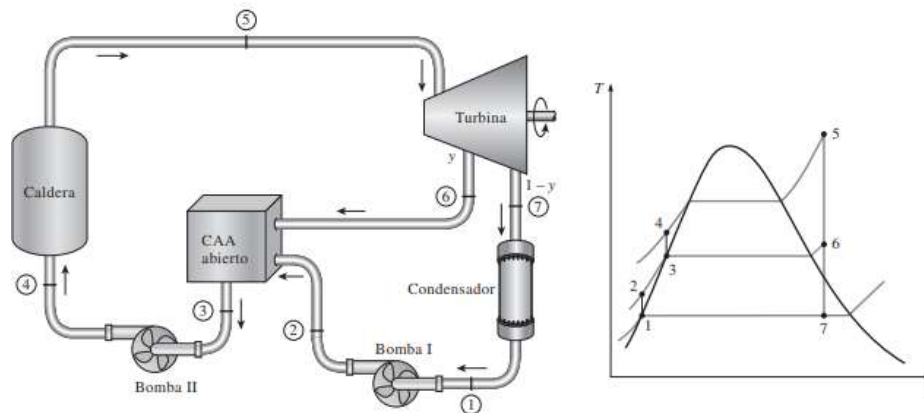


Figura 3.8 Ciclo Rankine con Etapa Regenerativa.

En la figura 3.8 se muestra el Ciclo Rankine regenerativo en el cual consta de extraer una pequeña porción de vapor de agua de la turbina e inyectarla a un intercambiador de calor con la finalidad de precalentar un poco el agua antes de que esta entre a la caldera. (9)

Capítulo 4

Balance Energético de una Termoeléctrica

Para realizar el balance energético de una termoeléctrica, tomamos como ejemplo la termoeléctrica de Tula Hidalgo, lo cual tomaremos datos reales de la termoeléctrica para realizar cálculos de la central con tres configuraciones: simple, con recalentamiento y regenerativo, los cuales ya mencionamos en el capítulo 3, la figura 4.1 nos muestra el ciclo con el cual trabaja dicha central termoeléctrica.

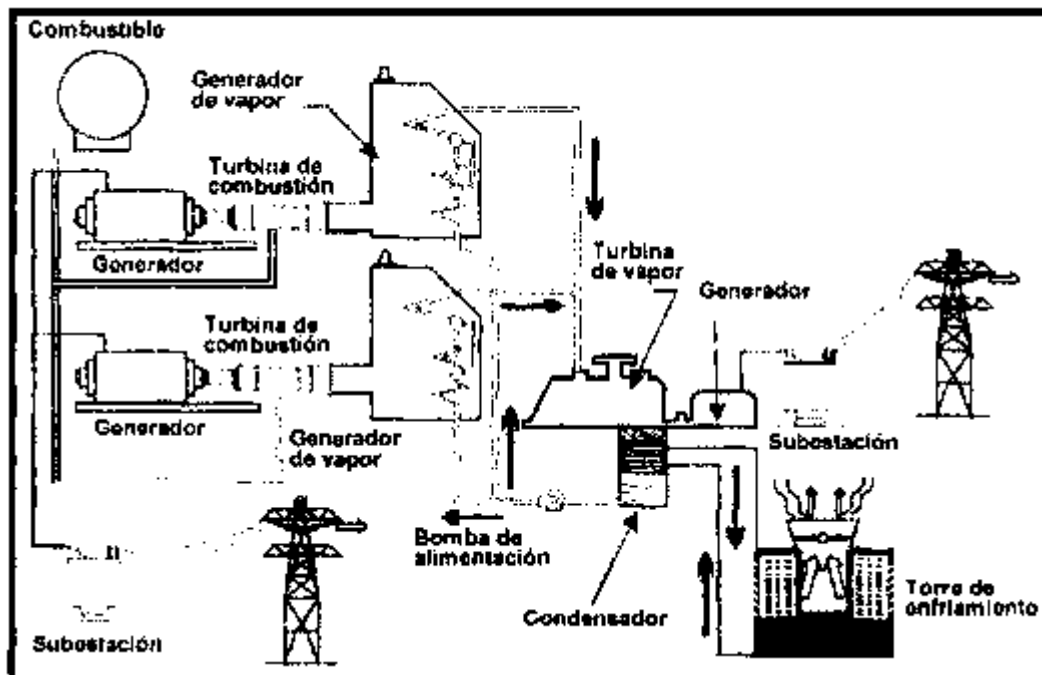


Figura 4.1 Diagrama de Ciclo Combinado, utilizado en la Central de Tula.

4.1 Balance Energético con Ciclo Rankine Simple

Para este balance energético utilizaremos la figura 4.2 como guía para realizar los cálculos adecuados de esta configuración.

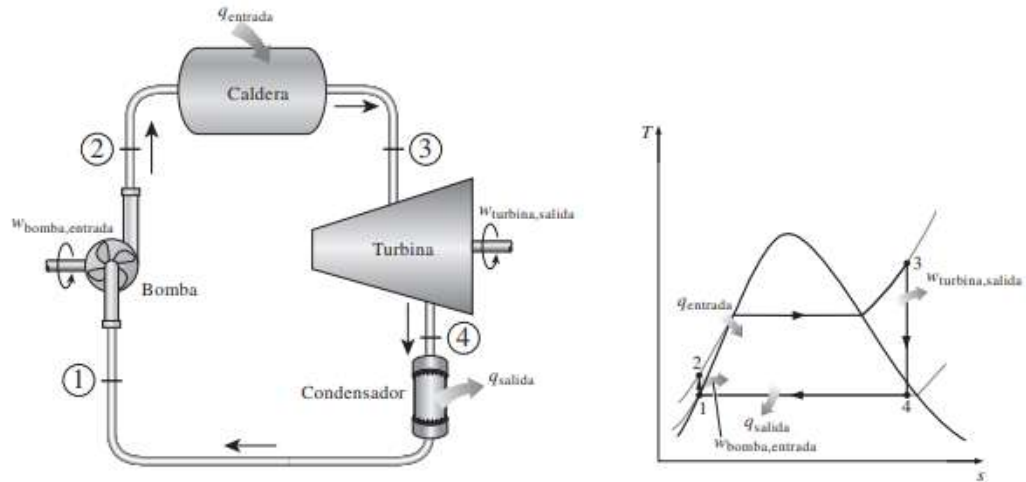


Figura 4.2 Diagrama del Ciclo Rankine ideal.

Se calculará cada eficiencia de cada parte de la central termoeléctrica para lo cual utilizaremos las siguientes fórmulas.

Para obtener la eficiencia del turbogenerador:

$$\eta_{Tg} = \frac{P_g}{P_E} \quad (4.1)$$

Donde

$P_g = 300MW$, Potencia generada en la termoeléctrica.

P_E = Potencia de entrada del Aerogenerador.

Además, $P_E = P_t$;

$$P_t = w_t * \dot{m}_1 \quad (4.2)$$

Se tiene que

$$w_t = h_3 - h_4 \quad (4.3)$$

Donde

P_t = Potencia de la turbina.

w_t = Trabajo de la turbina.

\dot{m}_1 = Flujo de vapor.

h_3 = Entalpia del vapor al salir de la caldera y entrar la turbina.

h_4 = Entalpia del vapor al salir de la turbina.

En caso de tener mezcla de vapor

$$h_x = h_{fx} + x * h_{fgx} \quad (4.4)$$

$$x = S_3 - \frac{S_{f4}}{S_{fg4}} \quad (4.5)$$

Donde

X = Calidad del vapor de agua

Para obtener la eficiencia del Generador de Vapor:

$$\eta_{G.V} = \frac{Q_{comb}}{Q_{G.V}} \quad (4.6)$$

Donde

Q_{comb} = Calor absorbido del combustible de la central.

$Q_{G.V}$ = Calor absorbido del Generador de Vapor.

Además:

$$Q_{comb} = \eta_{G.V} * Q_{G.V} \quad (4.7)$$

$$Q_{G.V} = \dot{m}_1(h_3 - h_2) \quad (4.8)$$

$$h_2 = w_b + h_1 \quad (4.9)$$

$$w_b = V_{f1}(P_2 - P_1) \quad (4.10)$$

Donde

h_2 = Entalpia del líquido comprimido al entrar a la caldera.

h_1 = Entalpia del líquido, normalmente saturado al salir del condensador.

w_b = Trabajo de la bomba.

V_{f1} = Volumen específico del fluido

P_1 = Presión de escape.

P_2 = Presión de diseño de turbina.

Para obtener la eficiencia del Condensador:

$$\eta_{cond} = \frac{Q_{cond}}{Q_{A.Enf}} \quad (4.11)$$

Donde

Q_{cond} = Calor absorbido del condensador.

$Q_{A.Enf}$ = Calor absorbido del agua de enfriamiento.

Además: (4.12)

$$Q_{cond} = \dot{m}_1(h_4 - h_1)$$

$$Q_{A.Enf} = \frac{Q_{cond}}{\eta_{cond}} \quad (4.13)$$

Para obtener la eficiencia de la bomba:

$$\eta_B = \frac{Pot_{bomba}}{Pot_{E.bomba}} \quad (4.14)$$

Donde

Pot_{bomba} = Potencia de la bomba.

$Pot_{E.bomba}$ = Potencia de entrada de la bomba.

Además: (4.15)

$$Pot_{bomba} = \dot{m}_1 * w_b$$

$$Pot_{E.bomba} = \frac{Pot_{bomba}}{\eta_B} \quad (4.16)$$

Con este procedimiento es fácil de entenderlo al aplicarlo a una central, por lo cual se realiza el análisis de una central termoeléctrica con los siguientes datos:

Presión de diseño de turbina	171.65 Bar
Temperatura de diseño de la turbina	540.55 °C
Presión de escape	0.075 Bar

Debido que las tablas de vapor están calculadas con presiones en Pascales, es necesario transformar la presión de Bars a Pascales, lo cual se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$1 \text{ Bar} = 100000 \text{ Pa} \quad (4.17)$$

Con esta transformación de presión, se puede obtener la entalpía y la entropía del punto 3 de la figura 4.2 utilizando las tablas de vapor. Los valores calculados de entalpía y entropía son los siguientes:

$$\text{A } 17,165 \text{ MPa } S_3 = 6.5169 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

$$\text{A } 17,165 \text{ MPa } h_3 = 3466.5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$\text{A } 7.5 \text{ KPa } h_{fg4} = 2406.3 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$\text{A } 7.5 \text{ KPa } S_{g4} = 7.679 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

$$\text{A } 7.5 \text{ KPa } h_{f4} = 168.2925 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$\text{A } 7.5 \text{ KPa } S_{f4} = 0.5747 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

Y utilizando un flujo de vapor aproximado de la central de $\dot{m}_1 = 271.38 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}}$

Con estos datos utilizaremos las formulas anteriores, con las formulas (4.1) a (4.5) se tiene:

De (4.5) se obtiene:

$$x_4 = \frac{6.5169 - 0.5747}{7.1043} = 0.8364$$

De (4.4):

$$h_4 = \frac{168.2925 \text{KJ}}{\text{Kg}} + (0.8364) (2406.3 \text{KJ/Kg}) = 2180.9218 \text{ KJ/Kg}$$

De (4.3):

$$w_t = 3466.5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - \frac{2180.9218 \text{KJ}}{\text{Kg}} = 1285.5782 \text{ KJ/Kg}$$

De (4.2):

$$P_t = \left(1285.5782 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) \left(271.38 \frac{\text{Kg}}{\text{seg}} \right) = 348.8416 \text{ MW}$$

Y de (4.1):

$$\eta_{tg} = \frac{300 \text{ MW}}{348.8416 \text{ MW}} = 0.8599$$

Por lo tanto la eficiencia del turbogenerador es del 85.99%.

A continuación analizaremos la eficiencia del Generador de Vapor, con las fórmulas (4.6) a (4.10), y sacando V_{f1} de las tablas de vapor:

De (4.10) se obtiene:

$$w_b = (0.0010079 \frac{m^3}{Kg}) (17165 \text{ KPa} - 7.5 \text{ KPa}) = 17.2930 \text{ KJ/Kg}$$

De (4.9) y sabiendo que $h_1 = h_{f4}$ se obtiene:

$$h_2 = 17.2930 \frac{KJ}{Kg} + 168.2925 \frac{KJ}{Kg} = 185.5855 \frac{KJ}{Kg}$$

De (4.8):

$$Q_{G.V} = 271.38 \frac{Kg}{seg} \left(\frac{3466.5 \text{ KJ}}{Kg} - \frac{185.5855 \text{ KJ}}{Kg} \right) = 890.0464 \text{ MW}$$

Tomamos la eficiencia del generador de vapor de la central como $\eta_{G.V} = 0.83$

De (4.7):

$$Q_{comb} = (0.83)(890.0463 \text{ MW}) = 738.73 \text{ MW}$$

En este caso la eficiencia del Generador de Vapor es de 83%, la cual tuvimos que investigar para poder obtener la potencia del calor absorbido por el combustible utilizado en la central.

A continuación analizaremos la eficiencia del Condensador, con las fórmulas (4.11) a (4.13):

De (4.12) se obtiene:

$$Q_{cond} = 271.38 \frac{Kg}{seg} \left(\frac{2180.9218 \text{ KJ}}{Kg} - 168.2925 \frac{KJ}{Kg} \right) = 546.187 \text{ MW}$$

Tomamos la eficiencia del Condensador de la central como $\eta_{cond} = 0.81$

De (4.13):

$$Q_{A.Enf} = \frac{546.187 \text{ MW}}{0.81} = 674.304 \text{ MW}$$

En este caso es similar al anterior, para poder calcular la potencia de calor del agua de enfriamiento del condensador fue necesario investigar la eficiencia del Condensador de la central que fue del 81%.

A continuación analizaremos la eficiencia de la bomba, con las fórmulas (4.14) a (4.16):

De (4.15):

$$Pot_{bomba} = \left(271.38 \frac{Kg}{seg} \right) \left(17.2930 \frac{KJ}{Kg} \right) = 4.6929 \text{ MW}$$

Tomamos la eficiencia de la bomba de la central como $\eta_B = 0.72$

De (4.16):

$$Pot_{E.bomba} = \frac{4.6929}{0.72} = 6.5180 \text{ MW}$$

Al igual que los casos anteriores fue necesario investigar la eficiencia de la bomba que fue del 72%.

Por lo tanto:

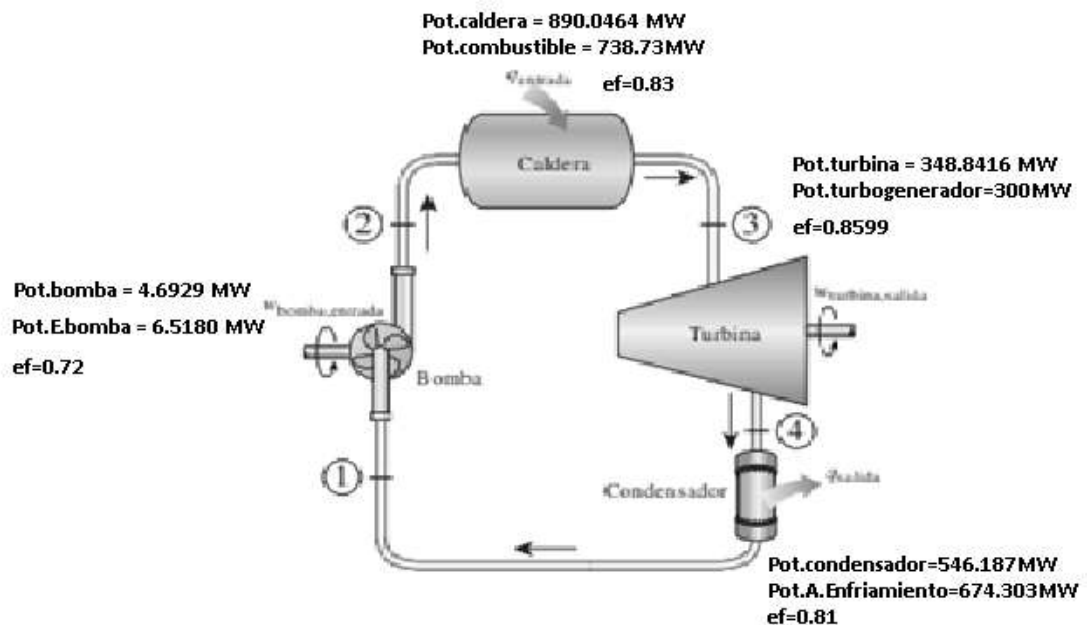


Figura 4.3 Diagrama de Potencias del ciclo Rankine ideal.

4.2 Balance Energético con Ciclo Rankine con Recalentamiento.

Para este balance energético utilizaremos la figura 4.4 como guía para realizar los cálculos adecuados de esta configuración.

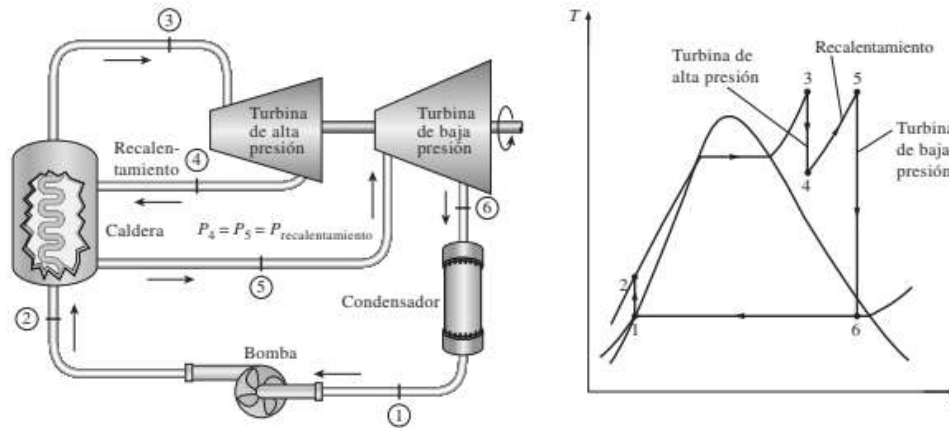


Figura 4.4 Diagrama del Ciclo Rankine con Recalentamiento.

Las formulas son casi las mismas que las vistas en la sección 4.1, solo añadiremos algunas para el cálculo de entalpia en los puntos 4 y 6 de la figura 4.4:

$$S_3 = S_4 = S_{f4} + X_4 S_{fg4} \quad (4.18)$$

$$h_4 = h_{f4} + X_4 h_{fg4} \quad (4.19)$$

$$S_5 = S_6 = S_{f6} + X_6 S_{fg6} \quad (4.20)$$

$$h_6 = h_{f6} + X_6 h_{fg6} \quad (4.21)$$

Donde

h_4 = Entalpia del vapor que va al generador a tomar energía.

h_6 = Entalpia del vapor al salir la turbina.

Ahora para el cálculo de la eficiencia del turbogenerador:

$$\eta_{Tg} = \frac{P_G}{P_t} \quad (4.22)$$

Además:

$$P_t = \dot{m}_1 w_t \quad (4.23)$$

$$w_t = (h_3 - h_4) + (h_5 - h_6) \quad (4.24)$$

h_5 = Entalpia del Vapor recalentado.

Con esta información se procede a obtener la eficiencia del turbogenerador la cual sería la única que cambiaría en esta configuración, adicionando información:

Presión de salida de la turbina de alta presión: 60 Bar

Temperatura de diseño de la turbina de baja Presión: 540°C

De igual manera que la central anterior, se obtiene directamente de las tablas de vapor los siguientes datos:

$$A 17,165 MPa \quad S_3 = 6.5169 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K}$$

$$A 17,165 MPa \quad h_3 = 3466.5 \frac{KJ}{Kg}$$

$$A 7.5 KPa \quad h_{fg6} = 2406.3 \frac{KJ}{Kg}$$

$$A 7.5 KPa \quad S_{fg6} = 7.679 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K}$$

$$A 7.5 KPa \quad h_{f6} = 168.2925 \frac{KJ}{Kg}$$

$$A 7.5 KPa \quad S_{f6} = 0.5747 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K}$$

$$A 6 MPa \quad S_5 = 7.0564 \frac{KJ}{Kg^{\circ}K}$$

$$A 6 MPa \quad h_5 = 3541.1 \frac{KJ}{Kg}$$

Con esta información obtendremos la eficiencia del turbogenerador:

De (4.18) despejando X_4 :

$$X_4 = \frac{\frac{6.5169KJ}{Kg^{\circ}K} - \frac{3.0276KJ}{Kg^{\circ}K}}{\frac{2.8625KJ}{Kg^{\circ}K}} = 1.2189$$

Debido a que la calidad del vapor en el punto 4 es mayor de 1, la fórmula (4.18) y (4.19) no se podrán utilizar para este caso, ahora para obtener la entalpia del punto 4 la obtendremos directamente del diagrama de mollier:

$$h_4 = 3140 \frac{KJ}{Kg}$$

De (4.20) despejando X_6 :

$$X_6 = \frac{\frac{7.0564KJ}{Kg^{\circ}K} - \frac{0.5747KJ}{Kg^{\circ}K}}{\frac{7.6754KJ}{Kg^{\circ}K}} = 0.8444$$

De (4.21):

$$h_6 = \frac{168.2925KJ}{Kg} + (0.8444) \left(\frac{2406.3KJ}{Kg} \right) = \frac{2200.1722KJ}{Kg}$$

De (4.24):

$$w_t = (3466.5 - 3140) + (3541.1 - 2200.1722) = \frac{1667.4278KJ}{Kg}$$

De (4.23):

$$P_t = \left(\frac{271.38Kg}{seg} \right) \left(\frac{1667.4278KJ}{Kg} \right) = 452.5065 MW$$

Y de (4.22):

$$\eta_{Tg} = \frac{300 MW}{452.5065 MW} = 0.6629$$

Por lo tanto la eficiencia del turbogenerador es del 66.29%.

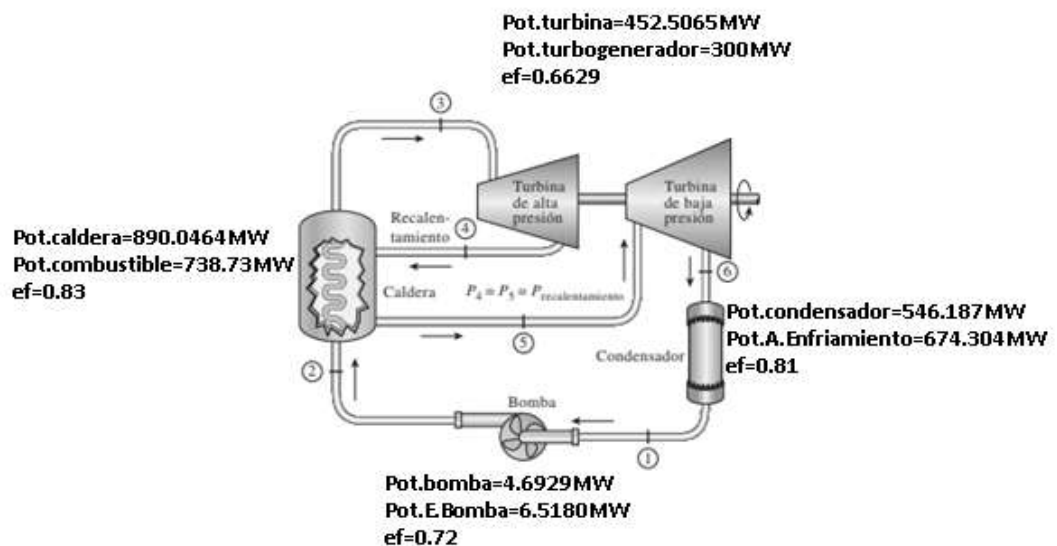


Figura 4.5 Diagrama de Potencias con Recalentamiento.

4.3 Balance Energético con Ciclo Rankine Regenerativo

Este ciclo, al igual que el ciclo de recalentamiento, utiliza las mismas fórmulas que el ciclo Rankine simple, con la diferencia en las siguientes formulas respecto a la figura 4.6, este diagrama es una combinación del ciclo Rankine con un paso de recalentamiento y un paso regenerativo:

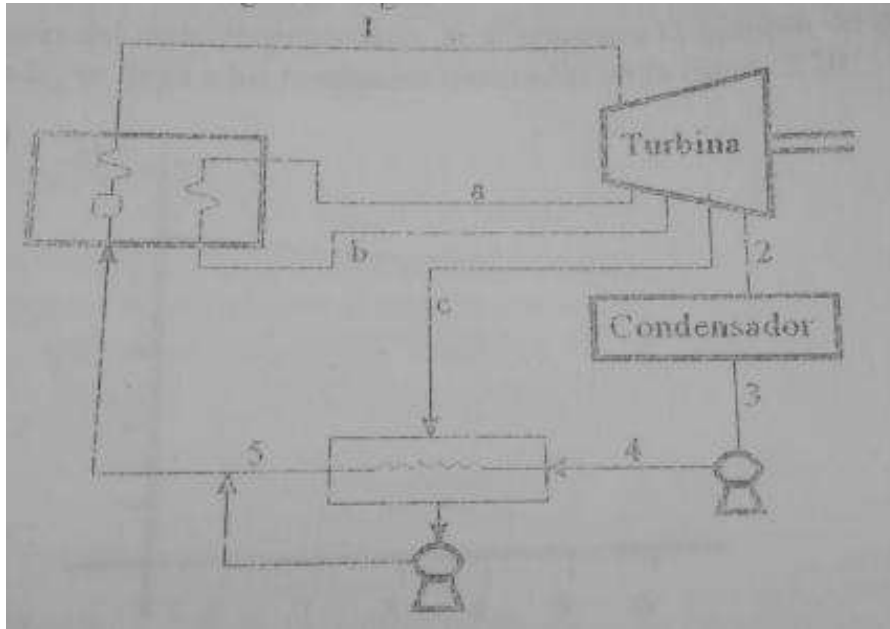


Figura 4.6 Diagrama del Ciclo Rankine, un paso de recalentamiento y un paso regenerativo.

$$S_c = S_b = S_{fc} + X_c S_{fgc} \quad (4. 25)$$

$$h_c = h_{fc} + X_c h_{fgc} \quad (4. 26)$$

$$\frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_1} = \frac{h_{fc} - h_{f2}}{h_c - h_{f2}} \quad (4. 27)$$

$$w_t = (h_1 - h_a) + (h_b - h_c) + \left(1 - \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_1}\right)(h_c - h_2) \quad (4. 28)$$

$$P_t = (\dot{m}_1)(w_t) \quad (4. 29)$$

$$\eta_{Tg} = \frac{P_G}{P_t} \quad (4. 30)$$

Con esta información se procede a obtener la eficiencia del turbogenerador la cual sería la única que cambiaría en esta configuración, adicionando información:

Presión del vapor extraído: 40 Bar

De igual manera que las centrales anteriores, se obtiene directamente de las tablas de vapor los siguientes datos:

$$A 17,165 \text{ MPa } S_1 = 6.5169 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

$$A 17,165 \text{ MPa } h_1 = 3466.5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$A 7.5 \text{ KPa } h_2 = 2180.9218 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$A 7.5 \text{ KPa } h_{fg2} = 2406.3 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$A 7.5 \text{ KPa } S_{fg2} = 7.679 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

$$A 7.5 \text{ KPa } h_{f2} = 168.2925 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$A 7.5 \text{ KPa } S_{f2} = 0.5747 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

$$A 4 \text{ MPa } S_{fc} = 2.7964 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

$$A 4 \text{ MPa } S_{gc} = 6.0701 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

$$A 4 \text{ MPa } S_{fgc} = \frac{3.2737 \text{ KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}$$

$$A 4 \text{ MPa } h_{fc} = 1087.3 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$A 4 \text{ MPa } h_{fgc} = 1714.1 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$Y h_a = \frac{3128.4009 \text{ KJ}}{\text{Kg}}, \quad h_b = \frac{3541.1 \text{ KJ}}{\text{Kg}}$$

Con esta información obtendremos la eficiencia del turbogenerador:

De (4.25):

$$X_c = \frac{\frac{6.5169 \text{ KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}} - \frac{2.7964 \text{ KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}}{\frac{3.2737 \text{ KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{K}}} = 1.1364$$

Debido a que X_6 es mayor que 1, la ecuación (4.25) y (4.26) no se utilizaran y la entalpia (h_c) se obtendrá directamente del diagrama de mollier:

$$h_c = 3020 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

De (4.27):

$$\frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_1} = \frac{1087.3 \frac{KJ}{Kg} - 168.2925 \frac{KJ}{kg}}{3020 \frac{KJ}{Kg} - 168.2925 \frac{KJ}{Kg}} = 0.3222$$

De (4.28):

$$w_t = \left(3466.5 \frac{KJ}{kg} - 3128.4009 \frac{KJ}{Kg} \right) + \left(3541.1 \frac{KJ}{Kg} - 3020 \frac{KJ}{Kg} \right) + (1 - 0.3222) \left(3020 \frac{KJ}{Kg} - 2180.9218 \frac{KJ}{Kg} \right) = 1427.9263 \frac{KJ}{Kg}$$

De (4.29):

$$P_t = \left(271.38 \frac{Kg}{seg} \right) \left(1427.9263 \frac{KJ}{kg} \right) = 387.5106 MW$$

De (4.30):

$$\eta_{rg} = \frac{300 MW}{387.5106 MW} = 0.7741$$

Por lo tanto la eficiencia del turbogenerador es del 77.41% para este caso.

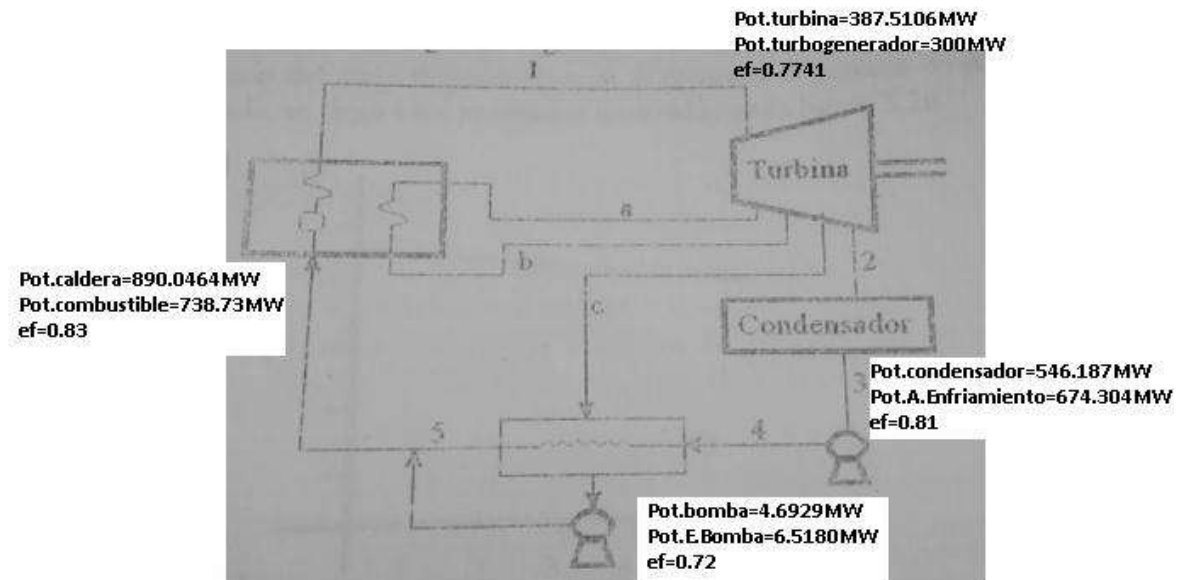


Figura 4.7 Diagrama de Potencias con un paso de recalentamiento y un paso regenerativo.

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

El objetivo de esta tesis es calcular las Potencias de cada parte de una central termoeléctrica todo esto con la finalidad de saber la eficiencia de cada componente y así saber el balance energético.

Primeramente, fue necesario obtener los puntos de operación de una central termoeléctrica para nuestro caso fue la de tula hidalgo, todo esto para conocer la forma en que opera y la cantidad de energía inyectada a la caldera para producir energía en la turbina y así producir energía eléctrica. Con estos datos obtenidos se procedió a obtener la potencia de la turbina todo esto para saber la eficiencia del turbogenerador con una potencia generada de 300MW.

Para el primer caso de ciclo Rankine simple se obtuvo una eficiencia del turbogenerador del 85.99% respecto a la potencia generada de la central termoeléctrica, para el generador de vapor fue del 83% respecto al calor absorbido del quema de combustible sobre el calor absorbido generador de vapor, para el condensador fue del 81% respecto al calor absorbido del condensador sobre el calor absorbido del agua de enfriamiento y por último la bomba fue del 72% respecto a la potencia de la bomba sobre la potencia de entrada de la bomba.

Para el segundo caso de ciclo Rankine con recalentamiento se obtuvo la eficiencia del turbogenerador del 66.29% respecto de la potencia generada sobre la potencia de la turbina y para los demás componentes las eficiencias no cambian.

Para el tercer caso del ciclo Rankine con una etapa de recalentamiento y una regenerativa se obtuvo una eficiencia del turbogenerador del 77.41% respecto a la potencia generada sobre la potencia de la turbina y para los demás componentes las eficiencias no cambiaron.

La potencia generada para los tres casos fue la misma, y como vemos la mayor eficiencia fue la del ciclo Rankine simple debido a que los otros dos casos si mejoran su eficiencia pero solamente si se le inyecta más combustible sobre el generador de vapor pero para nuestro caso la quema de combustible fue el mismo, en el tercer caso su eficiencia es muy cercana al primer caso pero la problemática de este es que su costo para implementarlo es muy elevado y aplicándole más quema de combustible su eficiencia si aumentaría pero muy poco y seria poco útil.

5.2 Recomendaciones

Un primer paso sería incrementar la eficiencia de cualquier termoeléctrica utilizando menos combustible o mediante algunas energías renovables ya que con esto reduciría quema de combustible y con esto menor contaminación al medio ambiente pero sobretodo analizar costos para la mejora de centrales y tomando en cuenta el bien para la humanidad o utilizar investigaciones sobre la aplicaciones de energía renovable a centrales de ciclo Rankine como son las centrales geotérmicas, centrales de biomasa o las centrales de ciclo combinado.

Bibliografía

1. **química, ingeniería de la reacción.** www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/BMyBE.html. [En línea] <http://www.ugr.es/~aulavirtualpfcicq/BMyBE.html>.
2. **SENER.** <https://www.gob.mx>. <https://www.gob.mx>. [En línea] <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/331770/PRODESEN-2018-2032-definitiva.pdf>.
3. **sostenibilidadedp.es.** sostenibilidadedp.es. *como funciona una central térmica(2016)*. [En línea]
4. *prospectiva del sector eléctrico. energía, Secretaría de.* ciudad de mexico : s.n., 2015.
5. **A.K.Raja, A.P.Srivastaba y M.Dwivedi.** *Power Plant Engineering.* New Delhi:NEW Age International : s.n., 2006.
6. **P.K.Nag.** *Power Plant Engineering.* New Delhi : Mcgraw-Hill, 2008.
7. **S.K.Sahu.** Notes for Power Plant Engineering. [En línea] 2016.
8. **renovetec.** www.cicloaguavapor.com. [En línea] <http://www.cicloaguavapor.com>.
9. **Y.A:Cengel.** *Termodinámica.* Ciudad de Mexico : McGraw Hill, 2009.