



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“SITUACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA E
HIDRÁULICA EN MÉXICO”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO – ELECTRÓNICO**

PRESENTA:

GABRIELA FLORIDA LAGOS

DIRECTOR DE TESIS:

DR. PABLO ÁLVAREZ WATKINS



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F., 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



AGRADECIMIENTOS.

A Dios por darme el don de la vida, que es el más grande tesoro que pude haber recibido, y otorgarme la suerte de haber crecido a lado de esta familia tan maravillosa que es la familia Florida Lagos.

A mis padres, María Lagos y Eligio Florida, por hacer de mi la persona que soy hoy, por todo su cariño, amor, comprensión, por cada una de esas horas de desvelo y por el esfuerzo tan grande que han hecho por mí, las cuales ni en un millón de años podre recompensarles, gracias por su trabajo, esfuerzo y dedicación.

El verdadero amor de padres me lo han demostrado día con día desde que nací, me considero la hija más afortunada del mundo al tener unos padres tan maravillosos como ustedes. Quiero que sepan que estoy muy orgullosa de cada uno de ustedes y que jamás los cambiaría por nada del mundo ¡los amo muchísimo!

A mis hermanas, Alicia por el apoyo que me brindaste que me hizo no rendirme y seguir, por cuidarme y ser un ejemplo para mí, y a ti Alejandra, por ayudarme a ser mejor persona aunque nunca te hayas dado cuenta. El cariño que les tengo es enorme y sepan que siempre estaré ahí para ustedes, las amo mucho.

A mi asesor el Dr. Pablo Álvarez, por su infinita paciencia y por todo el tiempo que ha invertido en ayudarme a lograr este objetivo. Gracias a su ayuda he cumplido mi propósito.

A la Dra. Araceli Aguilar, por toda la ayuda que me ha brindado para ser una mejor persona y guiar mi camino, no encontrare nunca la manera de agradecerle todo lo que ha hecho por mí. Estoy segura que la vida hizo que me reuniera con usted en el momento que más lo necesitaba, ¡muchísimas gracias!

A mi gran amigo, Ernesto Dueñas, por toda tu confianza, porque a pesar de la distancia has estado conmigo en momentos importantes para mí, por darme tu apoyo y brindarme tu amistad que es lo más valioso e importante, gracias por ser quien eres y por cruzarte en mi camino. Sabes que más que un amigo eres un hermano para mí, gracias por cuidarme y por todos tus consejos.

A Javier, por haber compartido tantas cosas conmigo, eres una persona maravillosa y agradezco todo lo que pasamos sea bueno o malo, tu apoyo fue vital en esta etapa de mi vida. Todo que compartimos jamás lo cambiaría por nada, muchas gracias. Siempre estarás en una parte de mi corazón.

Al Ingeniero Jorge Uriarte y al Licenciado Mario Lozada por su afecto e interés durante este proceso, por todos sus sabios consejos y también por sus regaños, aprecio enormemente todas sus atenciones y su preocupación.



A mis dos grandes amigas, Atziri desde el primer día que pise la facultad te convertiste en una gran amiga, no importa cuánto nos alejemos sé que puedo confiar en ti incondicionalmente, te agradezco por todo lo que hemos vivido; y a ti, Alejandra, la jefa de la banda, gracias por todos esos momentos que sin ti nunca hubieran sido tan especiales, por tu amistad y tu confianza.

Sin ustedes, mi vida en la facultad nunca hubiera sido la misma, gracias por brindarme una amistad tan valiosa la cual espero dure muchos años más.

A otra gran amiga, Ángeles, por haber estado ahí para escucharme, nunca olvidare esas conversaciones de horas y todo el apoyo que me has brindado, tus consejos y tus jalones de oreja, sea como sea siempre has estado ahí para apoyarme y darme ánimos, gracias por brindarme tu amistad, la cual espero dure muchos años más.

A todos mis amigos y compañeros de la Universidad, Rosaura Apresa, Natalia Medel, Efrén Farfán, Amaury Ramírez, José Zamora, Mario Sandino, Jorge Vega, Francisco Dorantes, Cecilia Sánchez, Fernando Reséndiz, Donaji Martínez, L.A. Rodrigo Martínez, Ana Hernández, Carlos Velázquez por todos esos momentos que compartimos y darme la oportunidad de conocerlos, cada uno de ustedes hizo una gran diferencia en mi vida.

A todos y cada uno de ustedes nuevamente gracias, por su confianza, tolerancia, apoyo, y muchísimas cosas más, agradezco enormemente a Dios los haya puesto en mi camino, sin ustedes nada hubiera sido igual, nunca los voy a olvidar y sepan que estaré cuando me necesiten.

Igualmente quiero agradecer a cuatro personas de quienes he recibido un apoyo que no esperaba, Arelly Vázquez, Alfonso Bool, Lidia Rivera y Gibrán Mejía, que no importando el tiempo de conocernos me han brindado una palabra de apoyo y un comentario oportuno para seguir adelante. Gracias por sus buenos deseos y sepan que si necesitan algo pueden contar conmigo.

Y un especial agradecimiento a la Ingeniera Gabriela Camacho por su ayuda en la edición en formato de esta tesis.

Y por último mi más grande agradecimiento a la Universidad y a la Facultad de Ingeniería, mi alma mater, por la oportunidad de forjarme como profesionista entre sus aulas, gracias a todos los profesores que dejaron en mi una enseñanza, y gracias también por haberme dejado tener amistades inolvidables.

Sinceramente

Gabriela Florida Lagos.



“Si no tengo el valor de intentar todo cuanto pueda,

Entonces no puedo vivir en un entorno hermoso”

Anónimo



INDICE GENERAL

Introducción.....	1
Capítulo 1. Energía eólica e hidráulica.....	3
1.1 Energía Hidráulica.....	4
1.1.1 La Energía del Agua.....	4
1.1.1.1 Formas de Aprovechamiento del Agua.....	8
1.1.2 Panorama Mundial de la energía hidráulica.....	10
1.1.3 Tecnología de Aprovechamiento Energético.....	14
1.1.3.1 Centrales mini hidroeléctricas.....	19
1.1.4 Costos.....	27
1.1.5 Ventajas.....	27
1.1.6 Desventajas.....	29
1.1.6.1 Eutroficación de Embalses.....	30
1.2 Energía Eólica.....	31
1.2.1 La Energía Del Viento.....	31
1.2.2 Panorama Mundial de la energía eólica.....	34
1.2.3 Tecnología de Aprovechamiento Energético.....	38
1.2.4 Costos.....	43
1.2.5 Ventajas.....	44
1.2.6 Desventajas.....	45
Capítulo 2. El Sistema Eléctrico Mexicano.....	46
2.1 Sector Eléctrico Mexicano.....	47
2.2 La historia eléctrica en México.....	48
2.2.1 Luz y Fuerza del Centro. (LyFC).....	52
2.2.1.1 Breve Reseña.....	52
2.2.1.2 Creación del organismo Luz y Fuerza del Centro.....	53
2.2.1.3 Operación de la empresa.....	54
2.2.1.4 Extinción de Luz y Fuerza del Centro.....	55
2.3 Historia de la Secretaría de Energía (SENER).....	56
2.4 Historia de Petróleos Mexicanos (PEMEX).....	58
2.5 Estructura actual del sector energético.....	61
Capítulo 3. Situación de la energía eólica e hidráulica en México.....	64
3.1 El Sistema Eléctrico Nacional.....	65
3.2 Capacidad Nacional.....	66
3.2.1 Capacidad regional.....	68
3.3. Margen de reserva.....	70
3.4 Pronóstico del crecimiento nacional de energía eléctrica 2009-2024.....	72



3.4.1 Programa de expansión.....	72
3.5 Energías Renovables.....	75
3.5.1 Energía eólica.....	77
3.5.2 Energía Minihidráulica.....	80
3.6 Estudio Comparativo. Matriz de impactos.....	85
3.5.1 Impactos económicos.....	85
3.5.1.1 Inversión ^A	85
3.5.1.2 Costos de operación ^B	86
3.5.1.3 Costos nivelados ^C	87
3.5.1.4 Matriz resultante.....	88
3.5.2 Impactos Ambientales.....	88
3.5.2.1 Emisiones de CO ₂	88
3.5.2.2 Emisiones de NO _x	89
3.5.2.3 Emisiones de SO ₂	90
3.5.2.4 Uso de agua.....	91
3.5.2.5 Biodiversidad.....	91
3.5.2.6 Matriz resultante.....	91
3.5.3 Impactos Sociales.....	91
3.5.3.1 Numero de empleos.....	91
3.5.3.2 Problemas locales.....	92
3.5.3.3 Matriz resultante.....	92
3.5.4 Impactos Técnicos.....	93
3.5.4.1 Eficiencia.....	93
3.5.4.2 Tiempo de construcción promedio.....	93
3.5.4.3 Disponibilidad.....	94
3.5.4.5 Uso mínimo de terreno.....	95
3.5.4.6 Matriz resultante.....	96
3.5.5 Matriz de impactos resultante.....	97
3.5.6 Análisis de datos y resultados.....	98
Capítulo 4. Alternativas y propuesta.....	99
4.1 Alternativas.....	100
4.2 Propuesta.....	103
Capítulo 5. Conclusiones.....	106
Relación de tablas y figuras.....	109
Bibliografía.....	111



Introducción

Después del auge de la Revolución Industrial, los impactos ambientales implicados en este periodo y según algunos estudios, la temperatura del planeta ha aumentado considerablemente después de 1900 debido al incremento de gases de efecto invernadero a la atmósfera, por lo que el balance natural entre irradiación, absorción y emisión de la radiación solar al planeta se ha visto perturbado, provocando un cambio climático global que, hoy en día, es una amenaza potencial para el desarrollo de diferentes sectores pero de mayor gravedad para el medio ambiente.

Las concentraciones de CO₂ han incrementado y de seguir así y no resolver el problema, dentro de los próximos 100 años la temperatura del planeta se elevaría de tal manera que provocaría un deshielo de los polos mucho más significativa de la que ya existe, provocando un aumento en el nivel del mar causando inundaciones y diversas condiciones climáticas más severas como son lluvias extremas, sequías y ondas de calor extremas, mayores a las que se están viviendo actualmente.

La contaminación del aire es motivo de gran preocupación. En algunas zonas, los contaminantes atmosféricos han alcanzado niveles que pueden afectar la calidad de vida, perturbar el equilibrio de los ecosistemas.

El mundo se enfrenta a temperaturas record por el incremento de la actividad solar, guiando al planeta a un calentamiento significativamente más rápido del que los científicos habían previsto para futuro años.

Este impacto es debido a la combinación de 3 factores: la quema excesiva de combustibles fósiles principalmente; a los residuos sólidos urbanos de la agricultura y ganadería; y al uso de fertilizantes y la industria química.

Los procesos convencionales para la generación de electricidad que se basan en la quema de combustibles fósiles, emiten cantidades importantes de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos. Aunque algunos mencionan que la generación de electricidad genera menos contaminantes que la industria y el transporte.

La energía hidroeléctrica, comparada con otras fuentes de electricidad, tiene ventajas desde el punto de vista ambiental. Si bien es cierto que las grandes presas pueden deteriorar el ambiente local y afectar el clima regionalmente, este medio de obtener energía no emite contaminantes nocivos a la salud, ni amenaza con cambios catastróficos e irreversibles, como es el caso de los residuos nucleares, o del bióxido de carbono producido por las plantas impulsadas por petróleo.

Por su potencial en muchas de las regiones más pobres del planeta, la energía hidroeléctrica ocupa un lugar destacado en la cartera de proyectos del desarrollo. Desafortunadamente, el incremento en los precios del petróleo, que volvió más atractivo el desarrollo de la energía hidroeléctrica, también redujo la capacidad de muchos países pobres de obtener préstamos para grandes proyectos. Sin embargo, podrían llevarse a cabo



proyectos hidroeléctricos en pequeña escala a bajo costo, utilizando fuerza de trabajo y materiales locales, lo que ayudaría a los países en desarrollo a romper el ciclo de pobreza y dependencia.

Estos proyectos de pequeña escala contribuyen a reducir el número de emisiones de CO₂ producidas por la utilización de combustibles fósiles, no produce residuos contaminantes (excepto en su fase de construcción) y es respetuosa con el medio ambiente porque los impactos que genera son mínimos y fácilmente evitables; inagotable gracias al ciclo hidrológico natural, no consumen agua del río: tan sólo recogen cierta cantidad en un punto que se devuelve al cauce en una cota inferior.

La energía eólica de igual forma, tiene más ventajas desde el punto de vista ambiental dado que no emite ni el más mínimo contaminante a la atmosfera pues solo utiliza un recurso inagotable que es el viento.

La tecnología eoloeléctrica es una tecnología que ha alcanzado un nivel muy importante de desarrollo tanto en la parte técnica como la económica lo que le ha dado la pauta de integrarse a los sistemas eléctricos convencionales. Es promovida por empresas de gran nivel y prestigio, por lo que su potencial de desarrollo será más elevado durante las próximas décadas.

Esta tecnología aun tiene que enfrentar algunos retos como son, la mejora del diseño de los aerogeneradores que permitan reducir su tamaño sin perder su eficiencia, reducir costes de materias primas, optimizar el mantenimiento de los molinos, y encontrar soluciones para evitar los efectos negativos en las aves; no obstante en los últimos años este tipo de cuestiones se han ido investigando y se han desarrollado diversas soluciones que podrían mejorar estos sistemas. Además, también se busca potenciar la eólica marina, ya que en el mar, la fuerza del viento es más estable y permite la colocación de aerogeneradores más pequeños con más vida útil.

Es por todas estas razones que es importante estudiar y conocer el potencial que México posee en estos dos tipos de energías renovables y así mismo el avance que se tiene hasta el momento, y de esta manera, tratar de aminorar los efectos negativos que los combustibles fósiles han causado al planeta.



Capítulo 1. Energía eólica e hidráulica





1.1 Energía Hidráulica.

1.1.1 La Energía del Agua

Se denomina energía hidráulica o energía hídrica a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente de ríos, saltos de agua o mareas. Es un tipo de energía “verde” cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla, en caso contrario es considerada sólo una forma de energía renovable.

El origen de la energía hidráulica está en el ciclo hidrológico de las lluvias, la radiación solar que recibe la Tierra, la evaporación por radiación solar y los ciclos climatológicos globales que remontan grandes cantidades de agua a zonas elevadas de los continentes alimentando los ríos. Estas características hacen que sea significativa en regiones donde existe una combinación adecuada de lluvias, desniveles geológicos y orografía favorable para la construcción de represas.

Cuando el Sol calienta la Tierra, además de generar corrientes de aire, hace que el agua de los mares, principalmente, se evapore y ascienda a la atmosfera y se mueva, para luego caer en forma de lluvia.

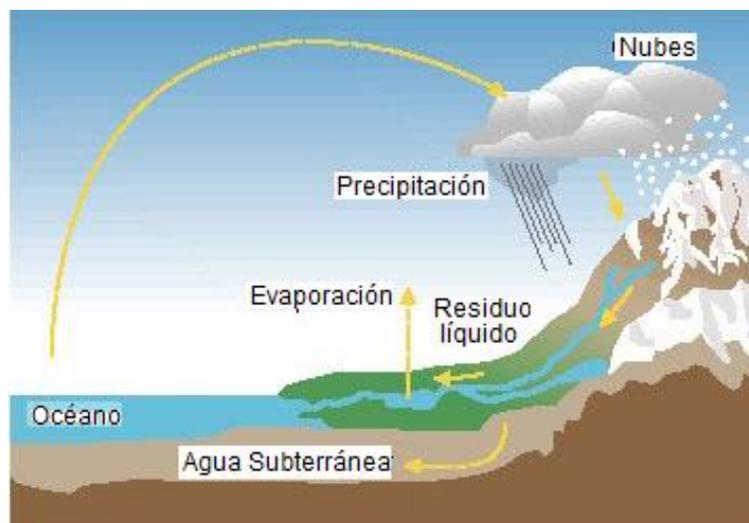


Figura 1- 1. Ciclo hidrológico

Una planta de energía hidroeléctrica aprovecha los recursos hidráulicos para producir energía. Al concentrar grandes cantidades de agua en un embalse o presa, se almacena energía potencial. El agua del embalse se traslada mediante canales o tuberías hacia localidades situadas a menor altura. En el trayecto la energía potencial se transforma en energía cinética. La velocidad que adquiere la masa de agua permite que se produzca una acción de empuje que se aplica a las turbinas, transformando la energía hidráulica en energía mecánica. Los generadores que están acoplados a la turbina giran a su vez, produciendo energía eléctrica. Es debida a la energía potencial contenida en las masas de agua que transportan los ríos, provenientes de la lluvia y del deshielo. Esta agua se puede coleccionar y retener mediante presas.



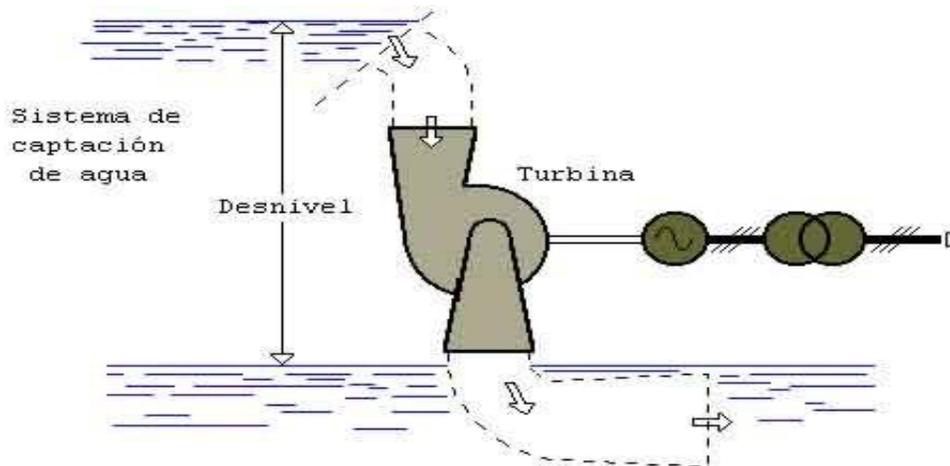


Figura 1- 2. Esquema de presa.

Este tipo de energía se produce a partir de las diferencias de nivel del agua acumulada en tanques, lagos artificiales o ríos.

En el caso de las masas de agua oceánicas, energía mareomotriz, se caracterizan por los movimientos que se producen en su interior. Existen dos clases de corrientes marinas, las superficiales y las profundas.

Las aguas de la superficie del océano que son movidas por los vientos dominantes forman unas gigantescas corrientes superficiales en forma de remolinos.

Las corrientes superficiales transportan grandes cantidades de agua cálida del ecuador hacia los polos, distribuyendo el calor de los trópicos al resto del planeta; su circulación es independiente en los hemisferios Norte y Sur y tienen influencia hasta más o menos 2 000 metros de profundidad. Las corrientes superficiales son aperiódicas y reciben este nombre porque no se observa en ellas regularidad alguna en la dirección ni en la velocidad, lo que se debe principalmente a la desigual distribución de la energía solar o a las caprichosas fuerzas de los vientos; estas corrientes pueden mover considerables masas de agua.

Y las corrientes profundas o termohalinas, situadas por debajo de la termoclina (capas en donde la temperatura del agua cambia rápidamente con la profundidad). Estas corrientes se desplazan por diferencias de densidad, provocadas por diferentes temperaturas de las aguas o bien concentraciones de sales (Figura 1- 3), actualmente el principal factor que determina la diferencia de densidades es la temperatura. Las aguas más frías o con más salinidad son más densas y tienden a hundirse, mientras que las aguas algo más cálidas o menos salinas tienden a ascender. De esta forma se generan corrientes verticales unidas por desplazamientos horizontales para reemplazar el agua movida. En algunas zonas las corrientes profundas coinciden con las superficiales, mientras en otras van en contracorriente. (Figura 1- 4)





Figura 1- 3. Circulación termohalina

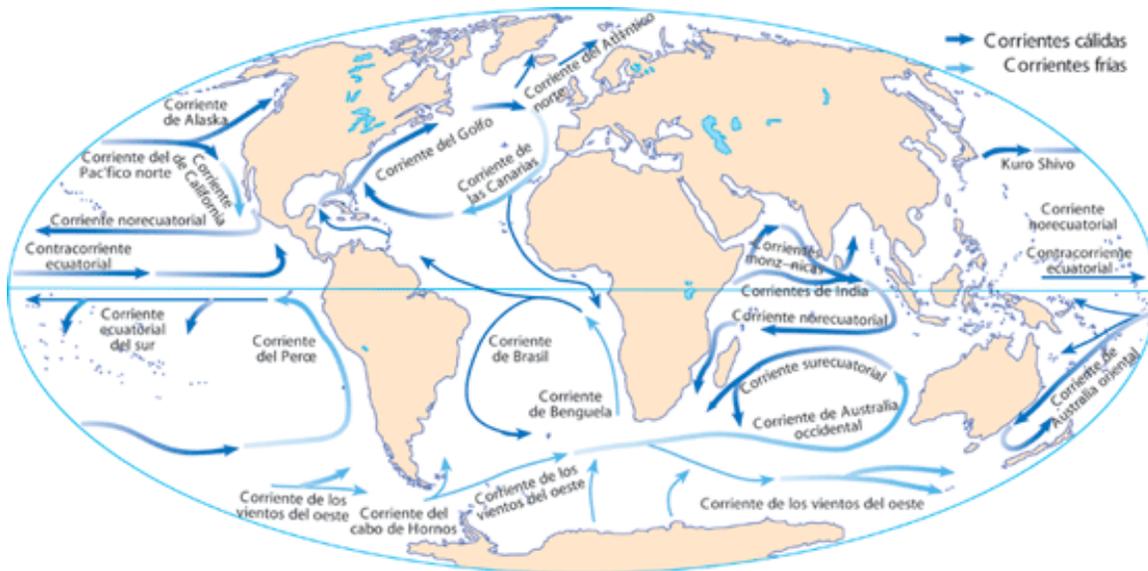


Figura 1- 4. Distribución de corrientes transoceánicas.

A través de la historia, el uso de la energía hidroeléctrica a estado más influido por factores sociales y políticos que por la disponibilidad de alguna tecnología específica.





El uso de la energía hidráulica data del tiempo de los romanos y ha sido utilizada durante mucho tiempo para moler granos. Se desarrolló lentamente por espacio de 18 siglos, debido al inconveniente de que las instalaciones deberían situarse junto a los ríos; mientras que las máquinas de vapor se podían instalar en cualquier lado.

Durante la edad media, antes de que las presas fueran frecuentes, se utilizaban las ruedas hidráulicas fijas en las barcas ancladas a la orilla de los ríos. Estas “plantas hidroeléctricas” flotantes no requerían de presas costosas y ecológicamente perjudiciales, y podían aprovechar corrientes de agua que de otra manera resultaban inaccesibles.

Se extendió al mismo tiempo que los conflictos sociales, en la medida que los pequeños agricultores se negaban a llevar el maíz a los molinos del pueblo, prefiriendo la alternativa de las tradicionales moledoras manuales.

Durante el siglo XIX, la energía hidroeléctrica se convirtió en fuente de electricidad y de energía mecánica.

Con la Revolución Industrial, y especialmente a partir del siglo XIX, comenzó a tener gran importancia con la aparición de las ruedas hidráulicas para la producción de energía eléctrica. La tecnología de la rueda se extendió al nuevo mundo y floreció en regiones donde no había esclavos como las colonias inglesas del norte, donde la mano de obra siempre fue escasa. Para finales del siglo XVIII había cerca de 10000 ruedas hidráulicas en esta zona.

Poco a poco la demanda de electricidad fue en aumento. El bajo caudal del verano y otoño, unido a los hielos del invierno hacían necesaria la construcción de grandes presas de contención, por lo que las ruedas hidráulicas fueron sustituidas por máquinas de vapor en cuanto se pudo disponer de carbón.

La primera central hidroeléctrica se construyó en 1880 en Northumberland, Gran Bretaña. El renacimiento de la energía hidráulica se produjo por el desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina hidráulica, que había sido inventada en 1820 por el ingeniero francés Benoit Fourneyron, y debido al aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX.

La tecnología hidroeléctrica se utiliza por lo general en presas, donde se pueden regular y almacenar las caídas de agua, aunque los primeros molinos rara vez tenían presas que les permitieran almacenar mucha agua. Las primeras instalaciones hidroeléctricas, conocidas como plantas impulsadas por la corriente de los ríos, dejaban de funcionar durante la época de sequía. Hasta que los costos de inundar grandes extensiones se convirtieron en un problema, los planificadores construían grandes presas para obtener energía continua.

Al evolucionar la tecnología de la transmisión eléctrica esta permitió el gran desarrollo de las plantas hidroeléctricas que se inició en 1910. Desde esa fecha hubo un incremento muy grande en la instalación de plantas hidroeléctricas, principalmente en Europa, Norteamérica y Japón y para 1920 las centrales hidroeléctricas generaban ya una parte importante de la producción total de electricidad.

El mayor incremento en capacidad se produjo en Rusia y algunas partes de África y Sudamérica. Mientras que en 1925 Europa Occidental, América del Norte y Japón representaban, el 94% de la producción hidroeléctrica. La capacidad hidroeléctrica instalada era de 26,400MW y la generación anual de 80,000GW/h.





Después de 1930, proliferaron por varias razones: por el incremento en la demanda de electricidad, la necesidad de crear empleos durante la gran depresión económica que se inicia en 1929, y el gran desarrollo en la tecnología de ingeniería civil, para la construcción de grandes presas.

En aquella época se construyeron grandes presas en el río Tennessee, en E.U, y en el Volga, en Rusia. Después de la Segunda Guerra Mundial se construyeron muchas plantas hidroeléctricas en países, y se iniciaron en otros, como Egipto, China Popular, Ghana, Brasil, India, Pakistán, etc.

A partir del desplome petrolero de 1973, ha crecido el interés en energía intermitente generada por las presas de corriente fluvial, muchas de las cuales se abandonaron durante la bonanza del petróleo.¹

El alza en los precios de los energéticos también alentó el interés en la olvidada tecnología hidroeléctrica independiente de las presas.

1.1.1.1 Formas de Aprovechamiento del Agua

- Centrales hidroeléctricas, según su capacidad:

Micro hidráulicas: capacidad máxima de 0.05 MW. Para pequeñas aplicaciones, la microhidráulica ofrece mejores resultados que ninguna otra renovable, puesto que los pequeños cursos de agua que corren por los arroyos tienen grandes posibilidades energéticas. Un riachuelo por donde pase un caudal aproximado de dos litros por segundo sería suficiente para producir la energía que consume cualquier hogar normal, si se emplean sistemas microhidráulicos. Basta contar con una diferencia en altura, un caudal y, por supuesto, una máquina capaz de funcionar con rendimientos óptimos, sin una presa, en las condiciones dadas.

Mini hidráulica: capacidad de 0.05 a 0.5 MW. Estas plantas pueden proporcionar energía eléctrica a zonas que de otra manera estarían aisladas o alcanzables solo con obras de mayor impacto medioambiental; permiten realizar una política de distribución sobre el territorio de la producción de energía eléctrica; utilizan el recurso agua de manera equilibrada y controlada por las comunidades interesadas. Estas centrales en pequeña escala bien proporcionado y ubicado, resulta económicamente competitivo respecto a las otras fuentes energéticas renovables y, considerando los costos globales reales, también respecto a las fuentes energéticas tradicionales. Las instalaciones micro hidráulicas representan por lo tanto una forma de energía valiosa. Para la obtención de energía mini hidráulica no siempre es necesario incluir una presa en la instalación y si esta existe no debe superar los 15 metros de altura.

¹ Denduey, Daniel. "Raudales de energía: el potencial de la energía hidroeléctrica". Instituto Mexicano de Tecnología del agua. 1991.





Pequeña central hidroeléctrica: de 0.5 a 5 MW. Se adapta más al aprovechamiento de caídas altas con pequeños caudales, las obras hidráulicas pueden ser simples y generalmente no se requieren grandes construcciones, como represas. Estas requieren menores costos iniciales, y presentan ventajas técnicas de operación.

Gran central hidroeléctrica: mayor a 5 MW. De todas la más rentable, pero con mayor impacto ambiental. Requiere una gran construcción y una represa.

- Centrales mareomotrices:

Por energía mareomotriz se entiende aquella que es obtenida de las mareas, fuerza de las olas, gradientes térmicos y salinos, y corrientes marinas cuyo movimiento es aprovechado para girar una turbina de un generador eléctrico. Estos movimientos están provocados por la atracción gravitatoria del Sol y principalmente de la Luna, llamados marea alta y baja, así como los movimientos por gradientes son los responsables del aprovechamiento de los movimientos del agua marina para la generación de electricidad.

La gran dificultad para la obtención de este tipo de energía es su elevado coste de las instalaciones y el hecho de que debe estar en un lugar geográficamente apto y que contenga grandes masas de aguas en zonas naturales.

La ubicación ideal para aprovechar este tipo de energía es un estuario, una bahía o una ría donde el agua de mar pueda penetrar fácilmente, donde la bocana debe ser estrecha para permitir la construcción de un dique. El dique deja pasar el agua y luego es cerrado creando un depósito estanco. Cuando la marea sube, las compuertas del dique se abren y el agua ingresa al embalse, al llegar el nivel del agua del embalse a su punto máximo se cierran las compuertas, durante la bajamar el nivel del mar desciende y cuando la diferencia entre el nivel del agua del embalse y del mar alcanza su máxima amplitud, se abren las compuertas de las turbinas para que el agua pase a través.

Con respecto a esta energía también se puede aprovechar la fuerza de las olas. Esto se hace mediante el empleo de una serie de construcciones (cámaras en la línea de la costa diseñada para aprovechar el movimiento del oleaje. Cuando las olas ingresan en la cámara de aire el agua empuja el aire que se encuentra dentro de la cámara, este pasa a través de la turbina impulsando la hélice y esta a su vez, acciona un generador de electricidad. Cuando el agua se retira de la cámara se vuelve a llenar de aire.





1.1.2 Panorama Mundial de la energía hidráulica

El uso de la energía global se ha incrementado cerca de 70% desde 1971 y continua incrementándose en un índice de cerca de un 2% por año, demanda proveniente de países desarrollados y en desarrollo². Existen muchos escenarios para la demanda futura y la combinación de energía que será necesitada para satisfacer esta.

En 2005, el sector de energía renovable represento un quinto de la generación total de energía. La energía hidroeléctrica es la más avanzada y flexible de las energías renovables y representa el 87% de esta producción. Durante el 2005, 18 GW de nueva capacidad hidroeléctrica estuvo en servicio³. En la medida en que se trata de recursos de energía hidroeléctrica, la Asociación Internacional de Energía Hidroeléctrica (IHA, por sus siglas en inglés) estima que solamente un tercio del potencial real mundial se ha desarrollado.

La energía Hidroeléctrica proporciona energía eléctrica en 160 países, cinco de ellos representan más de la mitad de la producción de energía hidroeléctrica del mundo: Brasil, Canadá, China, Rusia y Estados Unidos. Con respecto a la capacidad en Europa, la energía hidroeléctrica puede ser anticipada a verse incrementada unas 10 veces en África, un incremento de 3 veces en Asia, el doble en Sudamérica y un incremento de cerca del 10% en Norteamérica⁴. Solo para Norteamérica, podría equivaler para una capacidad adicional de 16 GW, de la cual 11 GW están ya identificados en Canadá. Mientras que esta expansión se determinará por las necesidades del mercado de Norteamérica, el desarrollo futuro en muchas regiones menos desarrolladas se basara más en la búsqueda de mecanismos de financiación y sociedades apropiadas a largo plazo, por lo tanto el control de la tasa del progreso.

En 2007, hubo instalados 770,000 MW de energía hidráulica, que generó el 16% de la electricidad del mundo (3,190 TWh, de los 19,895 TWh). La energía hidroeléctrica proporcionó al menos la mitad del suministro eléctrico en más de sesenta países. El potencial teórico de la capacidad de energía hidroeléctrica en el mundo era de 2.8 millones de MW, cerca de cuatro veces superior a lo que ya ha sido explotada. Sin embargo, la cantidad real de electricidad que será generada por energía hidroeléctrica puede llegar a ser mucho menor que el potencial teórico, debido a las preocupaciones ambientales, económicas, y las alternativas competitivas.

A finales de 2008 la capacidad global instalada de energía hidráulica fue de aproximadamente 874 GW. Donde China ocupó el primer lugar con el 20%, Brasil y Estados Unidos con el 9%, seguidos de Canadá, Rusia y la India con 8%, 6% y 4% respectivamente, lo cuales integran un poco más de la mitad de la capacidad mundial. De acuerdo a los datos disponibles de IHA, esta capacidad proviene de cerca de 11,000 estaciones, con alrededor de 27,000 unidades generadoras. A nivel regional, Asia y Europa representaron el 55% (528 GW) de la capacidad instalada mundial.

Con respecto a proyectos en construcción, Asia es la más desarrollada por proyectos planeados en China principalmente, seguida por Europa y América del Norte, donde en esta última se tiene un desarrollo de por lo menos de 19 GW en el marco de planificación y 14.5 GW se identifican en Canadá. Con respecto a la región de África, se tiene identificado un gran potencial pero debido a cuestiones financieras se ha impedido el desarrollo.

² http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_2007/hydropower/691.asp

³ Idem

⁴ Idem





Evolucion desde 1971 hasta 2008 de la produccion hidroelectrica por region (TWh)

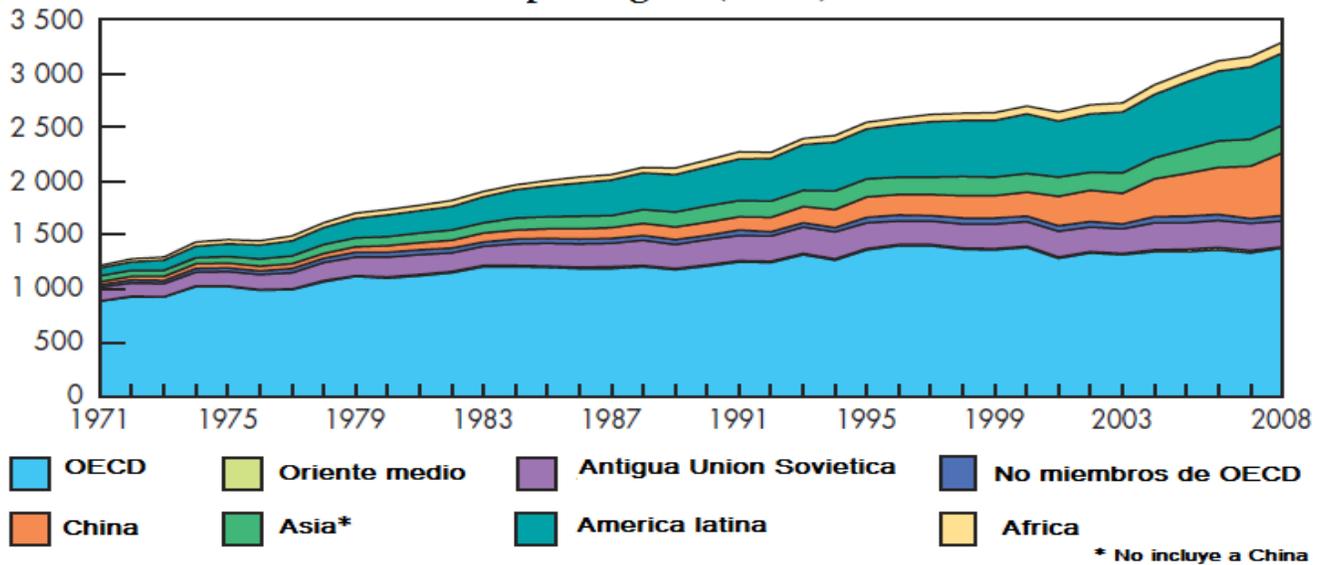


Figura 1- 5. Evolución de producción hidroeléctrica de 1971-2008 por región.⁵

Porcentajes de producción hidroeléctrica por regiones. 1973 y 2008

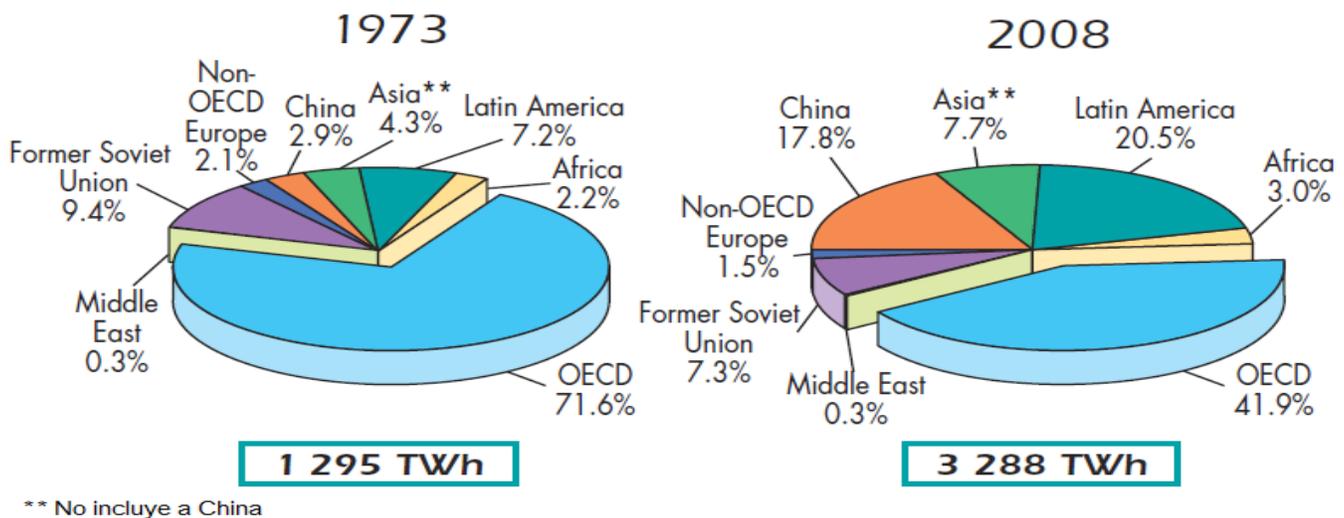


Figura 1- 6. Porcentajes de producción hidroeléctrica de 1973-2008 por regiones.⁶

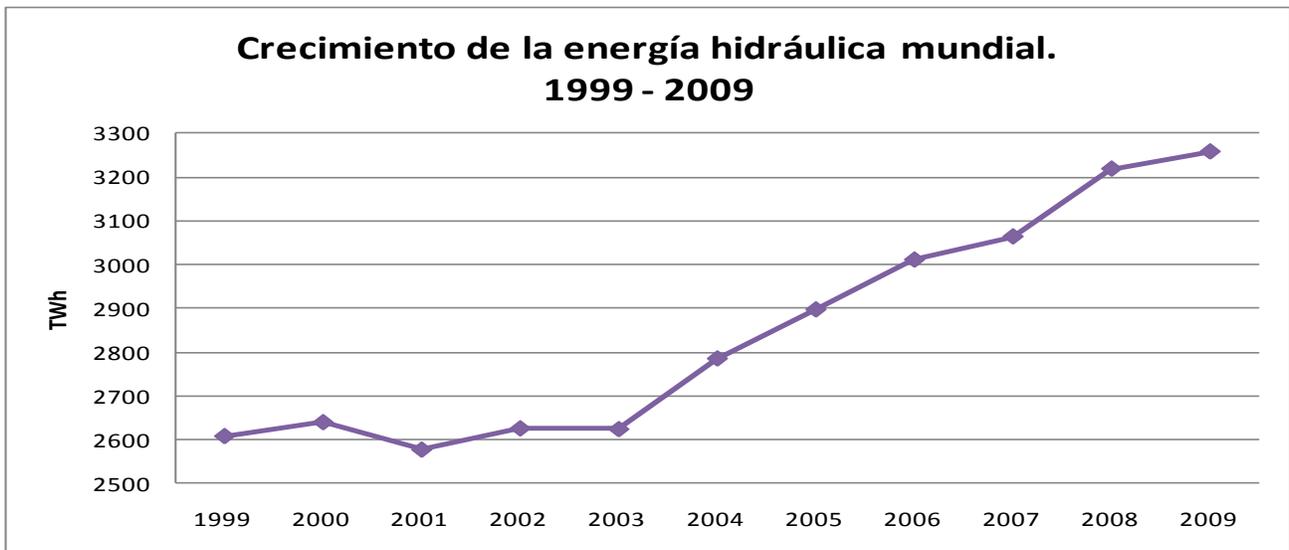
Para el 2009, la generación hidroeléctrica aumentó un 1.5%, que fue, sin embargo suficiente para hacer a la hidroeléctrica la mayor energía renovable de rápido crecimiento a nivel mundial en 2009. Este crecimiento fue liderado por China, Brasil y los Estados Unidos.⁷

⁵ Key World Energy Statistics. IEA.

⁶ Idem.

⁷ BP Statistical Review of World Energy June 2010. www.bp.com

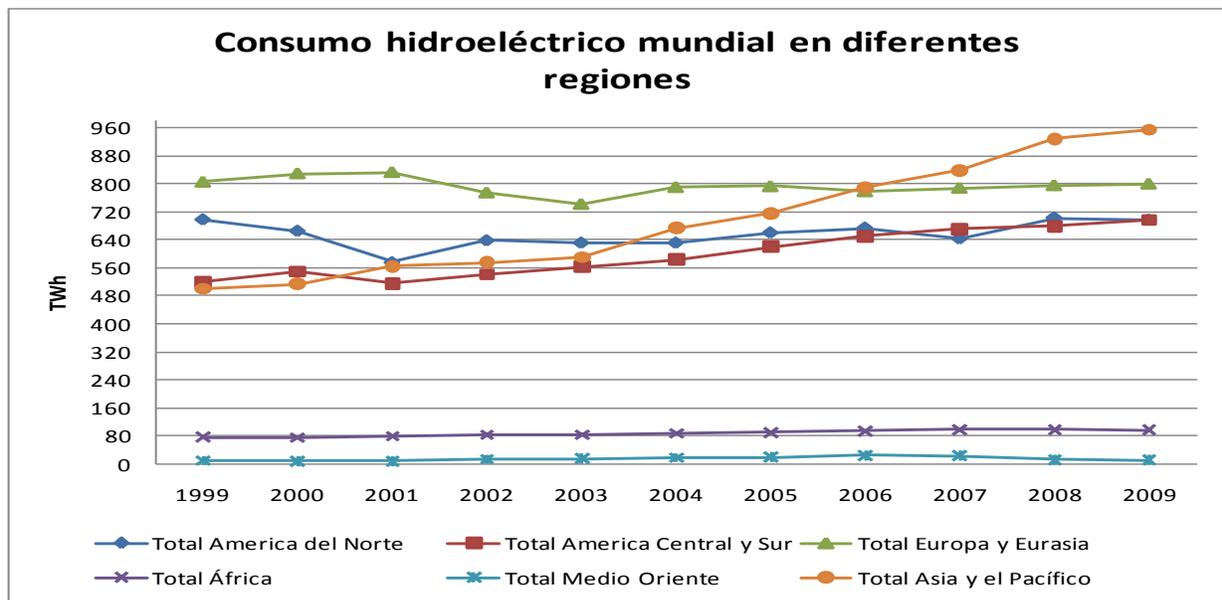




Gráfica 1. 1. Crecimiento de la energía hidráulica mundial 1999-2009.⁸

De acuerdo a datos del Informe Mundial de Energías Renovables 2010 (Renewables 2010 Global Status Report) la capacidad de energía hidráulica (gran y pequeña hidráulica) instalada en 2007, 2008 y 2009 fue de aproximadamente 920, 950 y 980 GW, respectivamente.

En 2009, la energía hidráulica represento el 3.2%, del 19% que las energías renovables proporcionaron a nivel mundial.



Gráfica 1. 2. Consumo hidroeléctrico mundial en diferentes regiones.⁹

⁸ Elaboración propia con datos de BP Statistical Review of World Energy

⁹ Elaboración propia con datos de BP Statistical Review of World Energy





En base de los datos de la compañía BP en su “Revisión Estadística de Energía Mundial” (Statistical Review of World Energy) de junio de 2010, se obtuvieron como resultados las dos graficas anteriores (Gráfica 1. 1 y Gráfica 1. 2) y una tabla donde se presenta un listado de las posiciones (Tabla 1. 1) que ocupan a nivel mundial los principales países productores de energía hidroeléctrica.

CAPACIDAD HIDRÁULICA INSTALADA A 2009			
		TWh	
1	China	612.9	18.8%
2	Canada	396.9	12.2%
3	Brasil	389.4	12.0%
4	USA	273.7	8.4%
5	Federación Rusa	175.1	5.4%
6	Noruega	126.7	3.9%
7	India	105.6	3.2%
18	Argentina	40.5	1.2%
19	Austria	36.5	1.1%
20	Suiza	35.6	1.1%
21	Turquía	35.6	1.1%
22	Pakistán	27.3	0.8%
23	España	26.8	0.8%
24	México	26.4	0.8%
TOTAL MUNDIAL		3259.5	100.0%

Tabla 1. 1. Capacidad hidráulica mundial instalada a 2009.¹⁰

Respecto a las pequeñas centrales hidroeléctricas, éstas han crecido anualmente cerca de unos 30 GW en los últimos años. En China, el “boom” en pequeñas hidroeléctricas adicionó de 4 a 6 GW anuales durante el periodo de 2004 al 2008.¹¹

En 2009, la India añadió cerca de 130 MW de energía hidroeléctrica, para un total de más de 2.5 GW de pequeñas centrales hidroeléctricas. Aunque en Brasil la mayoría de los proyectos provendrá de proyectos a gran escala, se prevé un aumento dramático en proyectos de pequeña escala. Los cinco países con mayor capacidad existente de ella a finales de 2009 son: China, Estados Unidos, Alemania, España e India.

Capacidad existente a 2009.

	Adicionada durante el 2009	Existente a finales de 2009
	GW	GW
Gran hidráulica	27 - 29	980
Pequeñas centrales <10 MW	2 - 4	60

Tabla 1. 2. Capacidad existente de gran y pequeñas hidráulicas a 2009.¹²

¹⁰ Elaboración propia con datos de BP Statistical Review of World Energy

¹¹ Renewables Global Status Report 2010.

¹² Ibidem.





1.1.3 Tecnología de Aprovechamiento Energético.

Los componentes principales de un sistema de energía hidráulica dependen, en gran parte, del tipo de planta que se construya:

1. Plantas sin embalse
 - a) Presa o cortina, compuertas de derivación y obras accesorias.
 - b) Desarenadores.
 - c) Canal de conducción.
 - d) Cámara de carga.
2. Plantas con embalse de regulación
 - a) Presa de embalse.
 - b) Compuertas y válvulas de toma.
 - c) Conducción forzada en túnel.
 - d) Cámaras de equilibrio o de compensación.
3. Obras comunes en todas las plantas.
 - a) Tubería forzada o de carga.
 - b) Turbinas.
 - c) Generadores eléctricos y accesorios.
 - d) Casa de fuerza.

◆ Presas o cortina.

Los diques de las presas son empleados para crear el almacenamiento (puede ser inclusive un lago artificial) de capacidad considerable por lo que se trata normalmente de obras civiles de gran tamaño que ayudan a la solución de grandes problemas técnicos y económicos de los sistemas eléctricos, pero que tienen una relación directa con la agricultura.

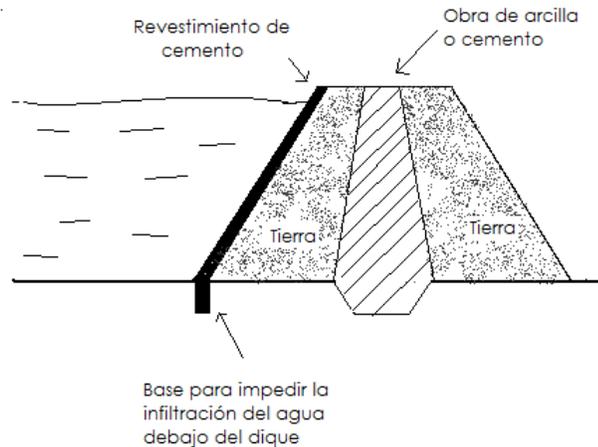
Las presas cumplen básicamente con tres finalidades:

- Una concentración de desnivel de un río para producir una caída de agua.
- La creación de un gran almacenamiento de agua capaz de regularizar el nivel o el flujo.
- Como una elevación del nivel del agua para facilitar la entrada del agua en un canal, en un túnel o en una tubería que se usan para alimentar la casa de máquinas (turbinas).

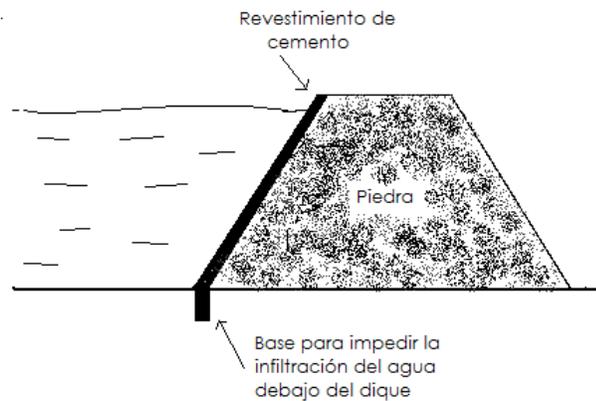
Su clasificación es muy común que se haga por el tipo de material de construcción empleado como:

- Presas de tierra. Se construye acumulando tierra alrededor de un muro importante de arcilla generalmente se construyen como obras de contención en recursos de gran contención y con lateras no superiores a 20 o 20 ms.

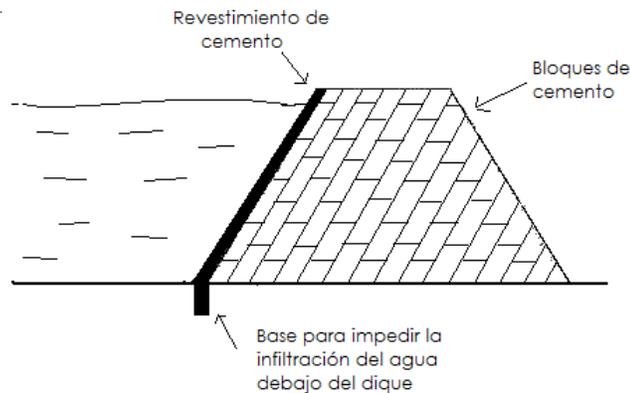




- De roca (piedra). Se construyen acumulando cantidades considerables de piedra perfectamente compactada y poniendo un revestimiento en el lado que queda en contacto con el agua para garantizar de esta manera la impermeabilidad.

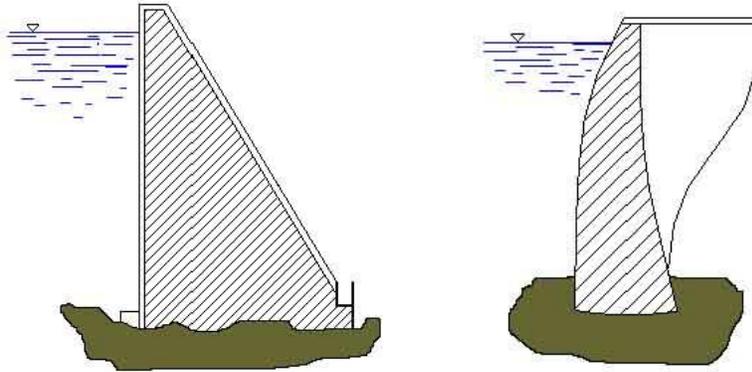


- De concreto. Se construye de bloques de concreto colocados uno sobre otro.



- En concreto macizo. Están constituidas de una enorme masa de cemento y piedra, cuyo peso está relacionado con el equilibrio estático de la cantidad de agua en el embalse, este tipo si se analizan en planta, puede tener forma rectilínea (de gravedad) o ligeramente curvada (de bóveda).





◆ Aliviadero

Los aliviaderos son elementos vitales de la presa que tienen como función liberar parte del agua detenida sin que esta pase por la sala de máquinas.

Se encuentran en la pared principal de la represa y pueden ser de fondo o de superficie.

La misión de los aliviaderos es liberar, si es preciso, grandes cantidades de agua o atender necesidades de riego.

Para evitar que el agua pueda producir desperfectos al caer desde gran altura, los aliviaderos se diseñan para que la mayoría del líquido se pierda en una cuenca que se encuentra al pie de la represa, llamada de amortiguación.

Para conseguir que el agua salga por los aliviaderos existen grandes compuertas de acero que se pueden abrir o cerrar a voluntad, según la demanda de la situación

◆ Canal de derivación:

Sirve para conducir el agua desde la presa al recipiente de carga o de las turbinas de la central, se construye en forma de tubería o a la intemperie. Cuando el salto es superior a 15 m se recomienda que entre el agua a la sala de turbinas por medio de tuberías forzadas lo que requiere, de la construcción de la cámara de presión.

En general los elementos de conducción de agua que relacionan la toma de agua con las turbinas son:

➤ Canales o túneles con superficie de agua libre.

Son raramente utilizados en máquinas al hilo del agua que tienen grandes variaciones en el nivel del agua que almacenan. La diferencia entre cada tipo depende de la inclinación del Talud del perfil transversal y del revestimiento que se tenga en las paredes.

Los canales deben tener una pendiente pequeña para mantener en el agua una cierta velocidad de circulación. Con el objeto de que no disminuya el salto útil.





➤ Tuberías.

En las instalaciones hidroeléctricas en donde las alturas de caída son por lo general superiores a 15m es común que en lugar de canales de conducción se usen las tuberías de presión.

Las tuberías de presión o forzadas sirven para conducir el agua de la cámara de presión a las turbinas cuando por la altura de la caída se requiere este arreglo para transformar la energía potencial en energía cinética

Cuando la tubería de presión es de gran longitud y en tramos que tengan una pendiente pequeña en una parte y una gran pendiente en la otra, entonces el pozo de oscilación se debe construir tan cerca como sea posible de la casa de máquinas.

Algunas formas comunes de estos pozos o piezométricos son:

- a. De oscilación tipo a: produce un efecto acelerador o retardador
- b. De oscilación tipo b: diseñado para que el túnel o canal pase debajo del cuerpo cilíndrico para limitar las pérdidas de carga en la entrada y salida, amortigua las oscilaciones.
- c. De oscilación tipo c: con estrangulamiento y un tubo central.
- d. De oscilación tipo d: reduce el tamaño de los pozos dividiéndose en 3 partes con funciones diferentes, un pozo de sección transversal para garantizar un rápido cambio del nivel del agua y de presión.

Válvulas:

U órganos de obturación, se utilizan para abrir y cerrar la circulación de agua por las tuberías, de acuerdo a la función que desempeñan puede ser:

1. Seccionamiento: su función es cerrar la circulación de agua hacia las turbinas cuando es requerido.
2. Seguridad: están normalmente equipadas con dispositivos automáticos de cierre para operar cuando la velocidad del agua exceda a un valor máximo fijado como límite y también cerrar el conducto cuando el gasto de agua exceda al que la turbina use normalmente o en caso de desboque de la misma.

Por lo general las válvulas están provistas de dispositivos para mando de control remoto para ser accionadas desde la sala de control central. Las más comunes son:

- Tipo mariposa: empleadas principalmente como elemento de emergencia o de seguridad en el arranque de tuberías forzadas, son usadas también con propósitos de mantenimiento y principalmente en instalaciones de poco salto o pequeña pérdida de carga.
- Tipo esférica: la mayor parte de sus aplicaciones son en las instalaciones importantes, presentan características de poca pérdida de carga, funcionan como órgano de intersección o de regulación del gasto y puede soportar cargas fuertes en los conductos de gran diámetro. Válvulas de cierre lento.
- Chorro divergente: se usa a la salida de las tuberías con propósitos de regulación y servicio.
- Aguja: válvulas equipadas generalmente con de by pass conectadas en derivación entre las 2 partes.





◆ Compuertas:

Se emplean para cerrar los conductos de agua como son los canales y tuberías, y para regular el gasto o caudal de agua en estos conductos.

Por su diseño pueden ser:

- Deslizantes: en este tipo el elemento de cierre se desliza o mueve sobre superficies deslizantes que además sirvan de soporte y elemento de sello, se usan en estructuras de canales y obras de toma y tanques de regulación.
- Rodantes: se usa preferentemente en las obras que tienen una toma profunda en casos de emergencia o para servicio, así como para trabajos de mantenimiento, se levantan por medio de cadenas o cables con grúas especialmente instaladas y ruedan a su posición de sello de acuerdo a su propio peso.
- Radiales: tienen la forma de una porción de cilindro que gira alrededor de un eje horizontal. Por lo general se levanta para desaguar y se usa para control en canales así como obras de toma.

◆ Deposito de carga o vaso regulador:

Se instala en un lugar adaptado sobre la central, generalmente al final del canal de derivación que alimenta a la tubería de presión que es alimentada por medio del agua almacenada en el vaso.

Tiene el objetivo de almacenar una cierta cantidad de agua para hacer frente a las variaciones de las cantidades requeridas por la turbina, debidas a las variaciones de la carga de los usuarios.

◆ Canal de desfogue o descarga:

El agua después de que se ha inyectado en las turbinas a reacción sale del rodete con una cierta turbulencia a través del llamado canal de descarga que se conduce a algún otro canal de descarga o algún río cercano a la central.

Su sección es normalmente rectangular y una más se usa para limitar la velocidad del agua.

◆ Casa de Máquinas

Es la edificación que contiene las turbinas y los generadores eléctricos. Consta de varias partes. Entre las más importantes se encuentran las unidades de generación, la sala de control y los equipos auxiliares.





1.1.3.1 Centrales mini hidroeléctricas.

Una pequeña central hidroeléctrica (PCH) en derivación, puede ser de filo de agua, la cual se caracteriza por no disponer de un embalse que le permita reservar agua para usarla en las épocas de menor caudal; en tal sentido el caudal es tomado directamente del recurso hídrico mediante una bocatoma que se comunica con un canal, encargado de conducir el caudal con una pequeña pendiente hasta el lugar donde se obtiene la caída necesaria para obtener la potencia requerida; en este lugar se encuentra un tanque de presión y un desarenador que une el canal con la tubería de presión, encargada de llevar el caudal hasta la turbina.

Los componentes que conforman la PCH son:

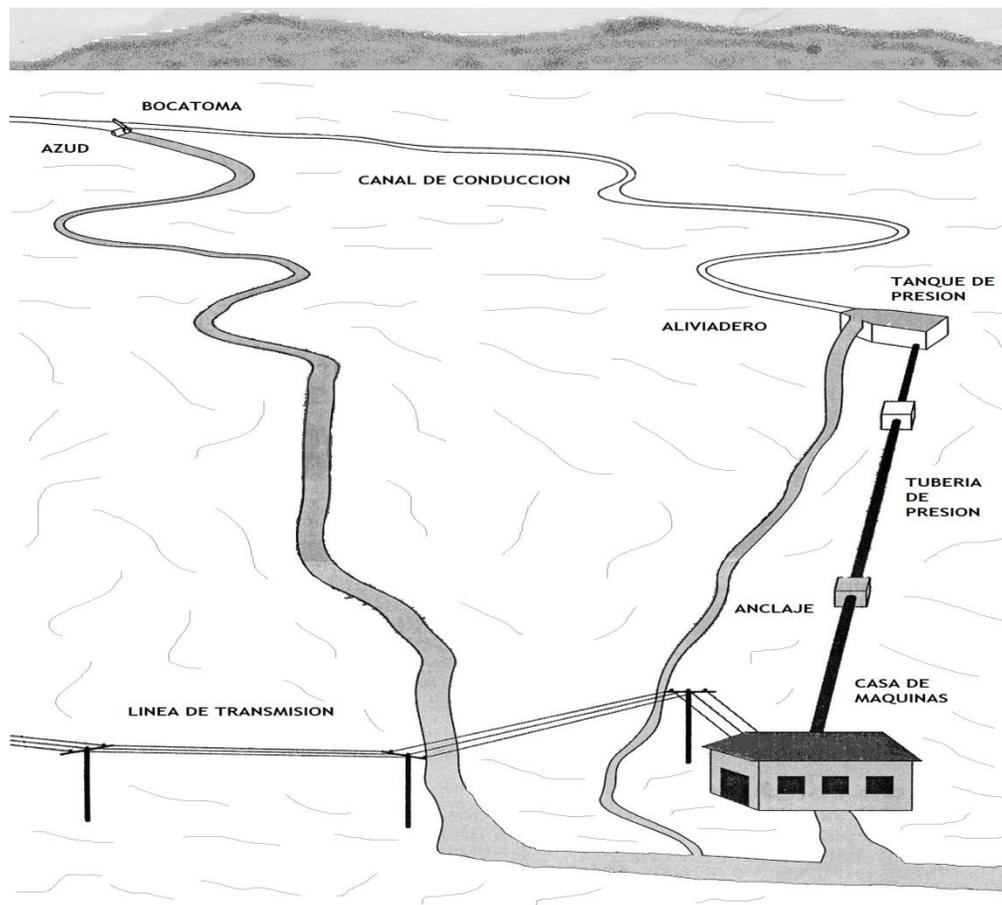


Figura 1- 7. Partes de una pequeña central hidroeléctrica.

Bocatoma

Es la obra mediante la cual se toma el caudal que se requiere para obtener la potencia de diseño; su construcción es sólida, ya que debe soportar las crecidas del río.

Obra de conducción

Se encarga de conducir el caudal desde el bocatoma hasta el tanque de presión, posee una pequeña pendiente; en la mayoría de los casos suele ser un canal, aunque también un túnel o una tubería.





Desarenador

Es necesario que las partículas en suspensión que lleva el agua sean decantadas, por ello al final de la obra de conducción se construye un tanque de mayores dimensiones que el canal, para que las partículas pierdan velocidad y caigan al fondo del desarenador.

Tanque de presión

En esta obra, la velocidad del agua es prácticamente cero, empalma con la tubería de presión, sus dimensiones deben de garantizar que no ingresen burbujas de aire en la tubería de presión, permitir el fácil arranque del grupo turbina – generador y amortiguar el golpe de ariete.

Aliviadero

Con estas obras se elimina el caudal de exceso que se presenta en la bocatoma y en el tanque de carga, y se regresa al cauce del aprovechamiento.

Tubería de presión

Mediante la tubería de presión se conduce el caudal de diseño hasta la turbina; está apoyada en anclajes que le ayudan a soportar la presión generada por el agua y la dilatación que le ocurre por variación de temperatura.

Casa de máquinas

En ella encontramos la turbina, encargada de transformar la energía hidráulica en mecánica, la mecánica en eléctrica y, mediante el sistema de transmisión, llevarla al usuario.

Otros elementos

Válvulas, reguladores, volante, tablero de medida y protecciones, subestación, barraje, etc.

Tipos de turbinas:

Las turbinas hidráulicas usadas en las centrales se clasifican en:

- Turbinas de reacción: es aquella en la que el trabajo mecánico se obtiene por la transformación de la energía cinética y de presión de agua que fluye a través de las partes giratorias. Son utilizadas por lo general en los aprovechamientos hidráulicos de pequeñas y medianas alturas. Se emplea el conocido principio de reacción de tal forma que el rodete se mueve siempre sumergido en el agua. El agua se mueve en sentido radial centrífugo, es decir, que el rodete que actúa como director se encuentra dentro de la rueda móvil.
- Turbinas de acción: son aquellas que transforman únicamente la energía cinética del agua. Clasificadas por:





A. Pelton.

La turbina Pelton fue inventada por Lester A. Pelton. Esta turbina se define como una turbina de acción, de flujo tangencial y de admisión parcial. Opera más eficientemente en condiciones de grandes saltos, bajos caudales y cargas parciales. (Figura 1- 8)

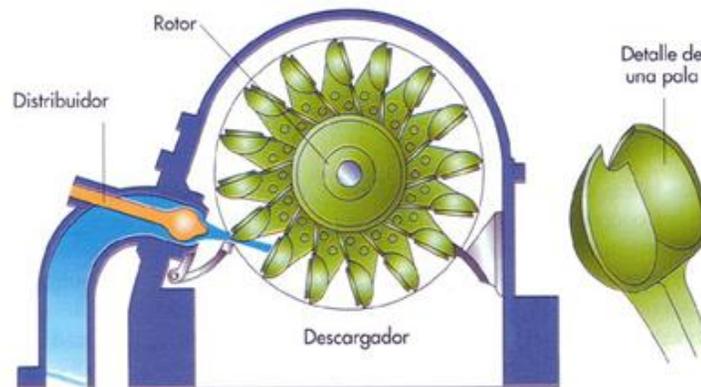


Figura 1- 8. Turbina Pelton.

Las partes que la constituyen son:

Distribuidor: Es el elemento de transición entre la tubería de presión y los inyectores. Está hecho por un inyector o varios inyectores que pueden llegar a ser hasta seis. El inyector consta de una tobera de sección circular provista de una aguja de regulación que se mueve axialmente, variando la sección de flujo.

Si se requiere una operación rápida para dejar al rodete sin acción del chorro, se adiciona una placa deflectora, así la aguja se cierra en un tiempo más largo, reduciendo los efectos del golpe de ariete.

En las turbinas pequeñas se puede prescindir de la aguja y operar con una o más toberas, con caudal constante.

Rotor. Es de admisión parcial, depende del número de chorros o de inyectores. Está compuesto por un disco provisto de cucharas montadas en su periferia. Las cucharas pueden estar empernadas al disco, soldadas o fundidas convirtiéndose en una sola pieza con el disco. Esta turbina puede instalarse con el eje horizontal con 1 o 2 inyectores, y con el eje vertical con 3 a 6 inyectores.

Carcasa. Es la envoltura metálica que cubre los inyectores, el rotor y los otros elementos mecánicos de la turbina, su principal objetivo es evitar que el agua salpique al exterior.

La forma de la carcasa es diferente según sea la turbina, de eje vertical o eje horizontal

Cámara de descarga. También conocida como tubería de descarga, es la zona por donde cae el agua libremente hacia el desagüe, después de haber movido el rotor.





Eje. El diseño original de este tipo de turbinas fue con el eje en posición vertical, el cual es conveniente para el caso de múltiples inyectores, sin embargo, cuando se trata de turbinas con uno o dos inyectores, resulta más simple el diseño en posición horizontal.

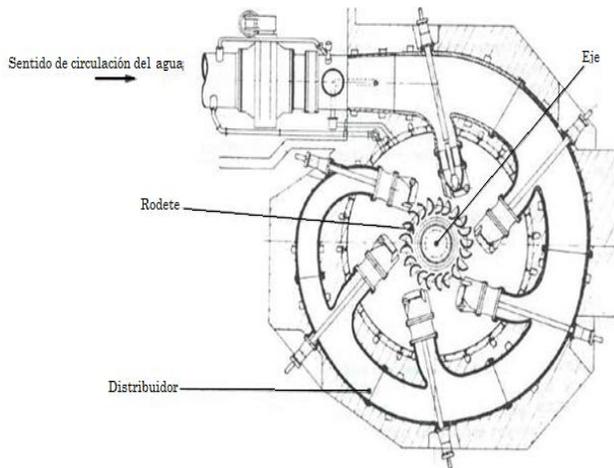


Figura 1- 9. Turbina Pelton de eje vertical.

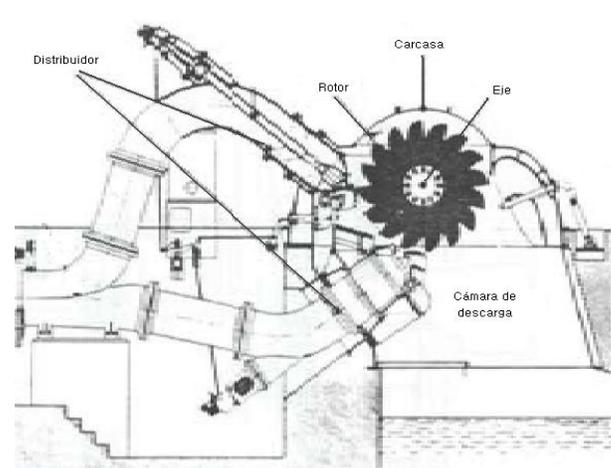


Figura 1- 10. Turbina pelton de eje horizontal.

- Tipos de turbinas:

Microturbinas Pelton

Se usan en zonas rurales aisladas donde se aprovechan los recursos hidroenergéticos que existen en pequeños ríos o quebradas para transformarlos en energía mecánica o eléctrica.

Para hacer posible este proceso se tiene que hacer un grupo de obras así como obtener equipos especiales, éstos se dividen normalmente en tres grupos: obras civiles, equipo electromecánico y redes eléctricas. Su capacidad se clasifica en el rango de menores a 100kW y hasta 10kW

Miniturbinas Pelton

Según las normas europeas las minicentrales hidroeléctricas son aquellas que están comprendidas en el rango de 100kW a 1000kW de potencia.

Según la Organización Latinoamericana de Energía clasifica en el rango de 50kW a 500kW. Algunos modelos desarrollados cubren el rango de 50kW a 1000kW. El campo de aplicación es muy amplio, sobre todo para las poblaciones locales de zonas aisladas.

Picoturbinas Pelton

La aparición de picocentrales hidroeléctricas y consecuentemente de picoturbinas, tiene apenas un poco más de una década. El rango de picocentrales está por debajo de los 10kW.

Las picoturbinas se aprovechan por los recursos hidráulicos existentes en quebradas muy pequeñas, manantiales u otras fuentes donde existen algunos chorros de agua y alguna pequeña caída que podría transformarse en energía mecánica o eléctrica. Se diseñan en la actualidad como pequeños bloques compactos, donde en una sola unidad se incluyen todas sus partes. Se caracteriza principalmente por su pequeño tamaño, su versatilidad y por su facilidad para el transporte e instalación.





B. Francis.

La turbina Francis fue desarrollada por James B. Francis. Se trata de una turbomáquina motora a reacción y de flujo mixto. Están diseñadas para los caudales y saltos de rango medio (aprox. 100m)

Son conocidas como turbinas de sobrepresión por ser variable la presión en las zonas del rodete, o de admisión total ya que éste se encuentra sometido a la influencia directa del agua en toda su periferia. También se conocen como turbinas radiales-axiales y turbinas de reacción.

El campo de aplicación es muy extenso, dado el avance tecnológico conseguido en la construcción de este tipo de turbinas.

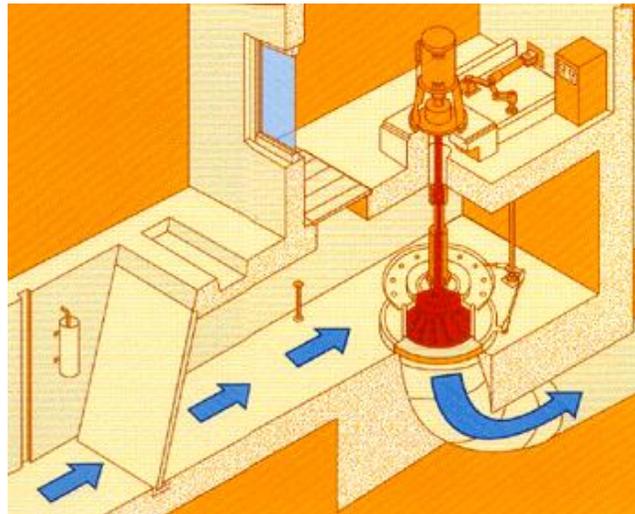


Figura 1- 11. Turbina Francis.

Las partes que la constituyen son

Caracol o caja espiral. Tiene como función distribuir uniformemente el fluido en la entrada del rodete de una turbina. Constituye el ducto alimentador de agua al rodete, es de sección circular y diámetro decreciente. Circunda el rodete y le entrega el agua requerida para la operación. El agua pasa del caracol al distribuidor guiada por unas paletas direccionales.

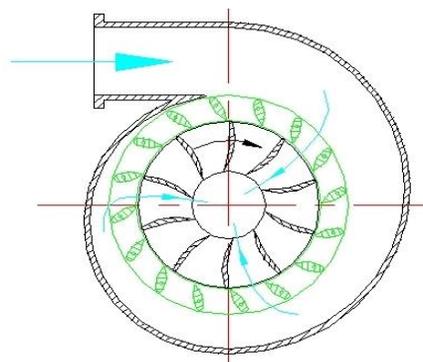


Figura 1- 12. Caracol o caja espiral de turbina Francis.





Distribuidor. El sistema de distribución posee una parte estacionaria denominada anillo fijo (stay ring) y los álabes fijos. Su función es regular el caudal que entra en la turbina, a la vez de direccionar al fluido para mejorar el rendimiento de la máquina; los álabes móviles en forma de persiana vertical y circular guían el agua hacia el rodete. En el distribuidor se transforma la energía de presión en cinética.

Rotor o rodete. Es la rueda motriz propiamente y posee álabes que están adosados a un disco perpendicular al eje de la máquina, ya que aquí tiene lugar el intercambio de energía entre la máquina y el fluido, pueden tener diversas formas dependiendo del número de giros específico para el cual está diseñada la máquina.

Tubo de aspiración. También denominado difusor o tubo de desfogue. Su función es recuperar el máximo de energía cinética del agua a la salida del rodete. En general se construye en forma de difusor, para generar un efecto de aspiración, el cual recupera parte de la energía que no fuera entregada al rotor en su ausencia.

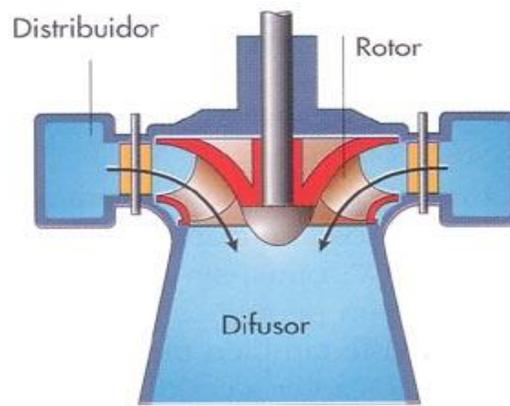


Figura 1- 13. Difusor de una turbina Francis.

Este tipo de turbinas se clasifican, en función de la velocidad específica del rodete, cuyo número de revoluciones por minuto depende de las características del salto.

- Turbina Francis lenta. Para saltos de gran altura (alrededor de 200 m o más).
- Turbina Francis normal. Indicada en saltos de altura media (entre 200 y 20 m)
- Turbinas Francis rápidas y extra rápidas. Apropriadas a saltos de pequeña altura (inferiores a 20 m).

C. Kaplan.

Su nombre se debe al ingeniero austríaco Víctor Kaplan (1876-1934). Entre 1910 y 1918 desarrolló una turbina hélice con los álabes de rodete orientables, y que lleva su nombre. Al poder variar la posición de los álabes, puede buscarse que su inclinación coincida en cualquier punto de funcionamiento con la dirección del flujo a la entrada del rodete, por lo que se adapta bien a cualquier carga.





Al igual que las turbinas Francis, las de tipo Kaplan, son turbinas de admisión total, incluidas así mismo en la clasificación de turbinas de reacción. Las características constructivas y de funcionamiento, son muy similares entre ambos tipos.

Se emplean en saltos de pequeña altura (alrededor de 50 m. y menores), con caudales medios y grandes (aproximadamente de $15 \text{ m}^3/\text{s}$ en adelante).

Debido a su singular diseño, permiten desarrollar elevadas velocidades específicas, obteniéndose buenos rendimientos, incluso dentro de extensos límites de variación de caudal. A igualdad de potencia, las turbinas Kaplan son menos voluminosas que las turbinas Francis.

Normalmente se instalan con el eje en posición vertical, si bien se prestan para ser colocadas de forma horizontal o inclinada.

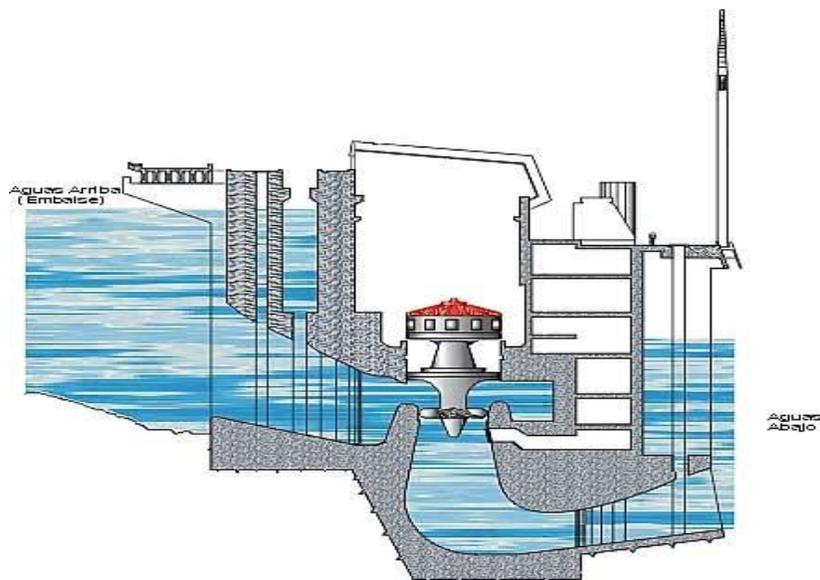


Figura 1- 14. Turbina Kaplan.

Dado el gran parecido con las turbinas Francis, las partes que la constituyen son:

Caja espiral, Distribuidor, Tubo de aspiración, Eje y Rotor.

El elemento que difiere plenamente entre ambos tipos de turbinas es el rotor o rodete, el cual identifica a la turbina Kaplan como tal, permitiendo la obtención de rendimientos óptimos, incluso con valores de 30% del caudal máximo.

Rotor o rodete. Se asemeja a la hélice de un barco, al estar formado por un número determinado de palas, de 2 a 4 para saltos de pequeña altura y de 5 e 9 cuando los saltos son mayores,

Solamente se denominan turbinas Kaplan, cuando todas y cada una de las palas del rodete están dotadas de libertad de movimiento, pudiendo orientarse, dentro de ciertos límites, girando al unísono y uniformemente sobre sus asientos respectivos situados en el núcleo, llamado también cubo del rodete, según ejes radiales del eje de turbina, adoptando posiciones de mayor o menor inclinación respecto a este último, según órdenes recibidas del regulador de velocidad.





Figura 1- 15. Rotor de Turbina Kaplan.

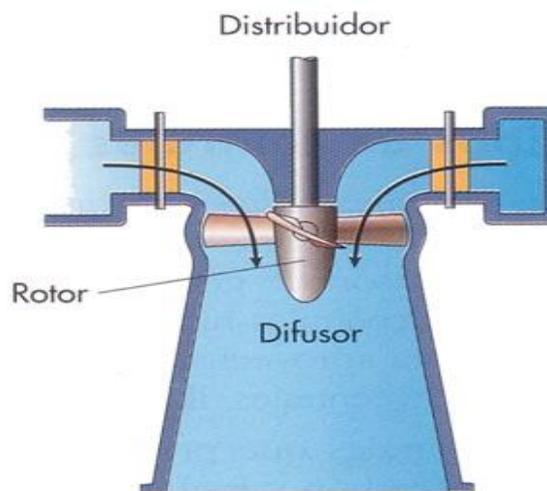


Figura 1- 16. Funcionamiento de una turbina Kaplan.

Las turbinas Kaplan, son también conocidas como *turbinas de doble regulación*, por intervenir en el proceso de regulación tanto las palas del distribuidor, como sobre las palas del rotor dependiendo de las condiciones de carga y del salto existente.

Existen 3 tipos de turbinas Kaplan:

Hélice: cuando el salto y caudal disponible en un aprovechamiento permanecen constantes lo largo del año, es aconsejable instalar una turbina sin ningún tipo de regulación. Es decir, ya que las condiciones a las que va a trabajar la turbina no van a variar, podemos dejar libre la entrada del agua hacia la hélice y ésta, con palas sin ningún tipo de regulación. Este tipo de turbinas se llama también de paso fijo.

Este tipo de turbina trabaja con un alto rendimiento mientras no varíen sus condiciones de trabajo.

KAPLAN: Las turbinas de hélice han desaparecido casi por completo y han sido desplazadas por las Kaplan porque, aunque su precio es mayor a causa del complejo mecanismo de orientación de los álabes y de la doble regulación (que exige dos servomotores y dos válvulas de distribución de aceite) su curva de rendimiento es una curva casi plana y su rendimiento a cargas intermedias es muy superior no solo a las turbinas de hélice, sino también a las turbinas Francis.

SemiKAPLAN: Las turbinas Kaplan se simplifican a veces y se abarata su construcción omitiendo el distribuidor constituyendo una SemiKaplan.





1.1.4 Costos.

El costo real de producir energía hidráulica varía de planta de energía a planta, ya que una de las principales variables a considerar es el tamaño de esta. En general, entre más grande sea una planta hidroeléctrica es mayor el costo de construcción pero más barato es el costo por kilowatt para producir electricidad. Cuando se compara con otros medios de producir electricidad, los costos de producción hidroeléctrica corren alrededor de cerca de un tercio de cualquiera de los combustibles fósiles (carbón o petróleo) o plantas de energía nuclear, y es menos de una cuarta parte del costo de la producción eléctrica de turbina de gas¹³. El factor principal que contribuye en la diferencia en este costo de producción es el costo del combustible para los otros medios de producción de electricidad, es decir, el costo de producción eléctrica se ve significativamente reducido puesto que el costo de operación es insignificante al no tener que gastar en compra de combustible y no estar sujeto al riesgo asociado a la volatilidad de los mercados de combustible.

El costo total de una planta hidráulica a su vez está formado por:

- Costo directo que equivale al 65% del total.
 - Ø Construcción de obras civiles.
 - Ø Adquisición de equipo electromecánico y montaje.
 - Ø Materiales para la construcción civil.
 - Ø Costos de mano de obra para la construcción de las obras civiles.
 - Ø Costo de mantenimiento y operación.
 - Ø Materiales para mantenimiento y operación.
- Costo indirecto que equivale al 15% del total.
 - Ø Costos de personal administrativo. Para mini centrales este costo no es tan representativo, puesto que diferentes actividades son realizadas por los mismo usuarios)
 - Ø Impuestos y contribuciones.
- Costo financiero equivalente al 20% del total.

1.1.5 Ventajas.

- Alta eficiencia.
- No consume combustibles.
- Elevada fiabilidad de operación.

¹³ <http://www.ieahydro.org/FAQ.html>





- Utiliza una forma renovable de energía, constantemente repuesta por la naturaleza.
- Capacidad de adaptarse fácilmente a los cambios de carga eléctrica.
- No contamina ni el aire ni el agua. No produce residuos de productos que contribuyan a problemas de calidad del aire, la lluvia ácida y los gases de efecto invernadero.
- Larga vida útil.
- Los costos de mantenimiento y funcionamiento son reducidos.
- Requiere poca vigilancia, ya que la turbina hidráulica es una máquina sencilla, eficiente y segura, que puede ponerse en marcha y detenerse con rapidez.
- Es autónoma respecto al desarrollo de precios de energía.
- Es autónoma de las dificultades de interconexión para lugares aislados.
- Algunas veces puede combinarse con otros beneficios, como riego, protección contra las inundaciones, suministro de agua, caminos, navegación y también como ornamentación del terreno y turismo.

Con respecto a la gran hidráulica, las ventajas de las centrales pequeñas, mini y micro son:

- Tecnologías de fácil adaptación.
- Reducido costo de operación.
- Reducido costo y simplicidad de mantenimiento.
- Reducen los riesgos por inundaciones.
- Larga vida útil de las estructuras hidráulicas.
- Ayuda a evitar la erosión de la cuenca.
- Mejora las labores agrícolas propiciando el desarrollo agroindustrial.
- Desarrollo económico de la industria metalmeccánica.
- Derrama económica por la construcción y operación.
- Arraigo en las zonas rurales y capacitación.
- Soluciona problemas de costos crecientes y dificultades en el abastecimiento de combustible.





1.1.6 Desventajas.

- Los costos de instalación iniciales son muy altos.
- Su ubicación es condicionada por la geografía natural. Suele estar lejos de los centros de consumo y obliga a construir un sistema de transmisión de electricidad, aumentando los costos de inversión y de mantenimiento y aumentando la pérdida de energía.
- La construcción implica mucho tiempo en comparación con las centrales termoeléctricas.
- El espacio necesario para el embalse inunda muchas hectáreas de terreno y el hábitat de la fauna silvestre.
- Cambio en los regímenes de flujo, de acuerdo con el régimen de lluvias, de estación en estación y de año en año.
- Dependencia a las precipitaciones (sin control de cantidad de agua disponible).
- Disconformidad en la población por desplazamiento en las zonas.
- Erosión en las orillas de los lagos produciendo gas del pantano (gas metano) con la descomposición de la biomasa. (Eutroficación)

Con respecto a la gran hidráulica, las desventajas de las centrales pequeñas, mini y micro son:

- Elevadas inversiones unitarias por kilovatio instalado.
- Estudios costosos con relación a la inversión total.
- Producción de energía afectada por condiciones meteorológicas estacionales.
- Necesidad de resolver eventuales contradicciones en las prioridades del uso del agua.
- Dificultades y burocracia que se deben enfrentar para la obtención de permisos. Falta de un marco regulatorio adecuado que apoye y promueva el desarrollo de estos proyectos.
- Capacidad de pago de la población así como su disposición a pagar los servicios.
- Su continuidad operativa depende de las características tecnológicas de las instalaciones, de una adecuada base económica productiva para el aprovechamiento de la energía generada y de adecuados esquemas institucionales para la administración, operación y mantenimiento.





1.1.6.1 Eutrofización de Embalses.

Una de las desventajas de la Gran hidráulica que tiene un peso significativo es la “eutrofización de los embalses”, este problema se refiere a la pérdida y degradación continua de los recursos de agua dulce.

Para entender este problema es necesario saber que:

Un embalse o represa es una acumulación artificial de agua que tiene como particularidad poder ser parcial y/o totalmente vaciado por gravedad o por aspiración. El cual se clasifica de acuerdo a su origen natural en: lago, charca, laguna o estanque; o artificial: cavado en el suelo o consecuencia de una represa.

Entre sus principales usos están el control del caudal de la crecida de un río, usos recreativos y/o estéticos, pesca, caza y acuicultura, abastecimiento para agua de riego, fuente de energía, entre otros.

A pesar de que las represas han sido construidas antiguamente, recientemente han tenido un auge considerable debido a la creciente demanda de agua y energía hidroeléctrica.

La eutrofización de un curso o depósito de agua puede producirse de manera natural, pero las actividades humanas pueden acelerar en gran medida este proceso, por lo que lo más habitual es que un lago o río eutrófico esté sucio o contaminado. En efecto, las aguas residuales urbanas, los vertidos industriales y las aguas de escorrentía procedentes de la agricultura intensiva suministran grandes cantidades de materia nutritiva a las aguas. Esto trastorna el equilibrio del ecosistema, alterando su flora y su fauna, teniendo el proceso siguiente:

1. Se produce un crecimiento excesivo de las poblaciones de algas y plantas acuáticas.
2. Las aguas adquieren una coloración verdosa y pierden su transparencia.
3. La descomposición de la biomasa vegetal disminuye las cantidades de oxígeno disuelto (en ocasiones se llega a una ausencia total de oxígeno).
4. Esta descomposición de la materia orgánica en condiciones anaerobias origina productos tóxicos que dan mal olor y sabor al agua.
5. La composición de las poblaciones piscícolas se modifica.

Los embalses son ecosistemas eutróficos, ya que tanto por su carácter reciente como por el régimen de funcionamiento a que están sometidos, no tienen ni el tiempo ni las condiciones necesarias para evolucionar hacia sistemas oligotróficos. Aunque las fluctuaciones ambientales de los embalses pueden tener un origen muy diferente, su efecto es muy limitado y se engloban en su mayoría dentro de los procesos de eutrofización.

La eutrofización de las aguas, en resumen, conduce a una degradación del medio y disminuye significativamente la calidad del agua.



1.2 Energía Eólica

1.2.1 La Energía Del Viento

El origen del viento se encuentra en la radiación solar, que calienta de forma diferente la superficie del planeta, lo que origina que la densidad del aire y por lo tanto la presión atmosférica, se distribuyan de forma desigual y cambiante entre las distintas zonas de la tierra. El viento es la corriente de aire que tiende a circular en las zonas de altas y bajas presiones. Sin embargo, el movimiento del aire es alterado por la rotación de la tierra.

La circulación general de la atmosfera terrestre sigue unas pautas fijas, así, en cada hemisferio, se distinguen varios núcleos, más o menos definidos

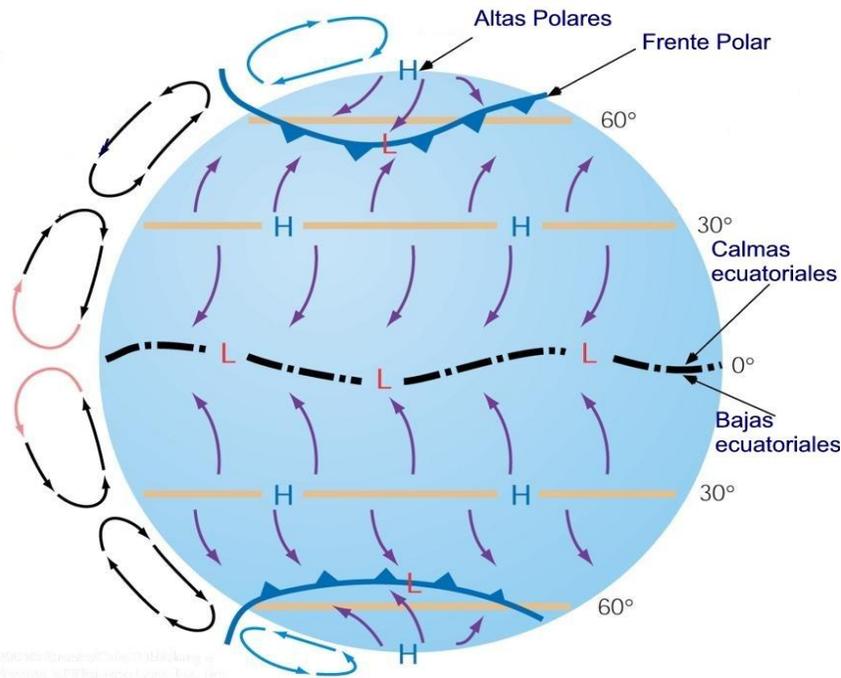


Figura 1- 17. Circulación atmosférica.

1. Zona ecuatorial, caracterizada por el movimiento vertical de convección. El aire caliente se eleva y circula hacia los trópicos. Es zona de bajas presiones y, a nivel del mar, el viento está en calma
2. La zona tropical, donde predominan los vientos alisios, dirigido hacia la zona ecuatorial, y que ocupan el lugar del aire recalentado de la zona ecuatorial.
3. La zona de calmas y altas presiones subtropicales. Hacia el paralelo 30 empieza el descenso hacia la superficie terrestre del aire que había ascendido en la región ecuatorial, lo que produce la aparición de una franja continua de altas presiones.





4. La zona templada, caracterizada por los vientos de Oeste. La circulación es menos regular que en las restantes zonas y está influenciada por las masas de aire de origen subtropical o polar que irrumpen intermitentemente en la zona.
5. La zona polar. La débil radiación solar hace que el frío tienda a bajar a la superficie, lo que origina otra zona de altas presiones.

La circulación general de la atmósfera sigue estas tendencias generales, pero, después, se modifica sustancialmente por la distribución de océanos y continentes y por la presencia de cadenas montañosas

Los antiguos egipcios utilizaban la fuerza del viento para impulsar sus embarcaciones a vela en sus desplazamientos por el Nilo, e igualmente las culturas sumerias se valían de la navegación a vela para trasladarse por los ríos Tigris y Éufrates.

La primera referencia histórica sobre una posible utilización de la energía eólica que no fuera la navegación, data del año 1700 a.C. y corresponde a los proyectos de irrigación del emperador Hammurabi.

Las máquinas eólicas más antiguas que se conocen tenían una finalidad religiosa, y parece ser que fueron de uso corriente en la zona del Tíbet y la Mongolia con anterioridad al siglo II a.C. La función concreta que desempeñaban estas máquinas en los ritos religiosos no se conoce detalle.

El primer molino de viento de aplicaciones utilitarias que se conoce con cierto detalle es el molino persa de eje vertical, el cual se empleaba para moler grano, y se utilizó varios siglos antes de Cristo.

En el extremo oriente, los chinos utilizaban desde tiempo inmemorial unos molinos llamados “panémonas” que se usaban para bombear agua. Las “panémonas” eran de eje vertical y sus palas estaban construidas a base de telas sujetas a largueros de madera. La posición de las palas podía variarse para regular la acción del viento sobre el molino. Los molinos de eje horizontal debieron surgir por primera vez en el área de la antigua Persia, probablemente con anterioridad a la época islámica. Su invención debió responder a la necesidad de adaptar máquinas eólicas de eje vertical al bombeo de agua.

A partir de entonces, la historia de los molinos de viento se desenvuelve hasta nuestros días a través de distintas religiones y culturas. Extremo Oriente, la antigua Persia, Afganistán, la civilización Islámica, Bretaña, Inglaterra y los Países Bajos, y con posterioridad Europa.

La “era moderna” de los molinos viene de la mano del desarrollo de la teoría de la aerodinámica, elaborada en las primeras décadas del siglo XX por Prandtl y Betz en Alemania, Joukowski, Dzewisky y Sabinin en Rusia, y Constantin y Eiffel en Francia, que primeramente encontraron aplicaciones en la fabricación de alas y hélices utilizadas en aviación y posteriormente en las palas de los rotores de los molinos.

Fue por eso que las máquinas cavaron perdiendo su carácter pintoresco habitual y se transformaron en los modernos molinos de austeras líneas, que se ajustan mejor a la conversión de la energía eólica de forma eficiente.

El impulso dado se lo dio el embargo de petróleo de 1973, el cual obligó a redoblar los esfuerzos en el perfeccionamiento de las fuentes alternativas de energía.





En la actualidad el impulso prosigue con la creciente concienciación de los problemas ambientales derivados de la utilización de fuentes convencionales de energía.

El término eólico viene del latín *Aeolicus*, perteneciente o relativo a Éolo o Eolo, dios de los vientos en la mitología griega y, por tanto, perteneciente o relativo al viento.

Las *grandes* regiones con más viento se encuentran en las regiones costeras de América, Europa, Asia y Australasia. Muchas regiones montañosas también presentan viento, mientras que en los interiores de las grandes masas de tierra son generalmente menores. El total del recurso es vasto, una estimación sugiere alrededor de 53 TWh para la cobertura total de la tierra.¹⁴ El recurso eólico en el mar también es enorme, de los recursos europeos, por ejemplo, capaz de abastecer todas las necesidades eléctricas de la Unión Europea, sin ir más lejos que 30 km de la costa.

Las zonas del “mejor” recurso eólico en tierra, basada en los planos del Dr. Gregor Czisch y el análisis de Archer y Jacobson¹⁵ se resumen a continuación y se muestra que el recurso se encuentra bien distribuido.

REGION	LOCALIZACION
Europa	Costas norte y oeste de Escandinavia y del Reino Unido, algunas regiones del mediterráneo.
Asia	Costa este, algunas zonas tierra adentro, islas en el Pacífico.
África	Norte, costa suroeste.
Australasia	Muchas regiones costeras.
América del Norte	Muchas regiones costeras, algunas zonas centrales, especialmente zonas montañosas.
América del Sur	Mejor hacia el sur, zonas de costa en el este y norte.

Cuadro 1- 1. Localización por regiones de recurso eólico.¹⁶

¹⁴ http://www.worldenergy.org/documents/ser_2010_report_1.pdf

¹⁵ *Ibidem.*

¹⁶ *Ibidem.*



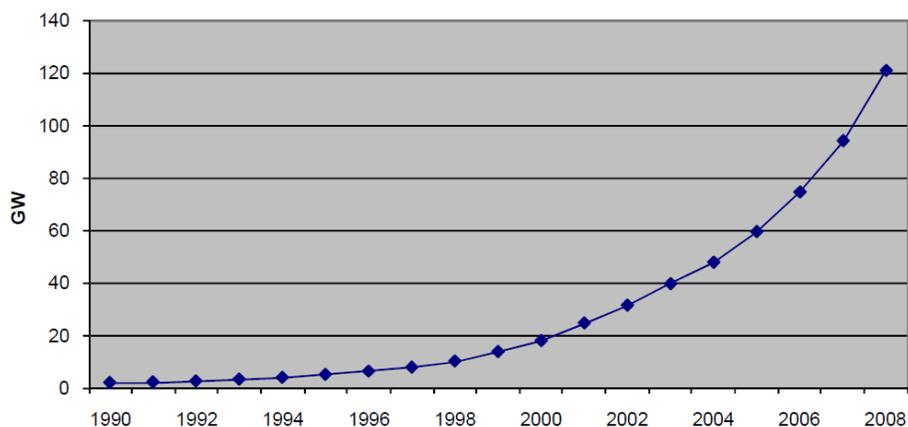


1.2.2 Panorama Mundial de la energía eólica.

La energía eólica se está desarrollando en el mundo industrializado por razones ambientales y tiene lugares de interés en el mundo en desarrollo, puede instalarse rápidamente en áreas donde la electricidad es una necesidad urgente. En muchos casos puede ser una solución costo-efectiva, si y solo si, los recursos de combustibles fósiles no son de fáciles de conseguir. Además existen muchas aplicaciones para la energía eólica en regiones remotas, en todo el mundo, sea para complementar la potencia del diesel (el cual tiende a ser más caro) o para abastecer granjas, viviendas y otras instalaciones sobre una base individual.

La capacidad instalada de energía eólica mundial se ha duplicado aproximadamente cada tres y medio años desde 1990. Es dudoso que cualquier otra energía tecnológica este creciendo, o haya crecido, a tal velocidad. La capacidad total a finales de 2008 fue cerca de 120 GW y la generación total anual cerca de 227 TWh, aproximadamente igual al consumo anual de Australia. Los Estados Unidos, con cerca de 25 GW, tiene la mayor capacidad pero Dinamarca con más de 3 GW, tiene el mayor nivel per capita, y su producción corresponde cerca del 20% del consumo de electricidad danesa¹⁷.

Crecimiento de la capacidad eólica mundial



Gráfica 1. 3. Crecimiento de la capacidad eólica mundial (1990-2008).¹⁸

La energía eólica instalada en 2009 creció aproximadamente 31.68% respecto a 2008, con un total instalado en todo el mundo de 159,213.3 MW. Europa, en ese año, lidera el parque de energía eólica con un aproximado del 46% del parque, Asia con un 26% y Norte América con un 25% aproximadamente.

¹⁷ Survey of energy resources 2010.

¹⁸ Ibidem.

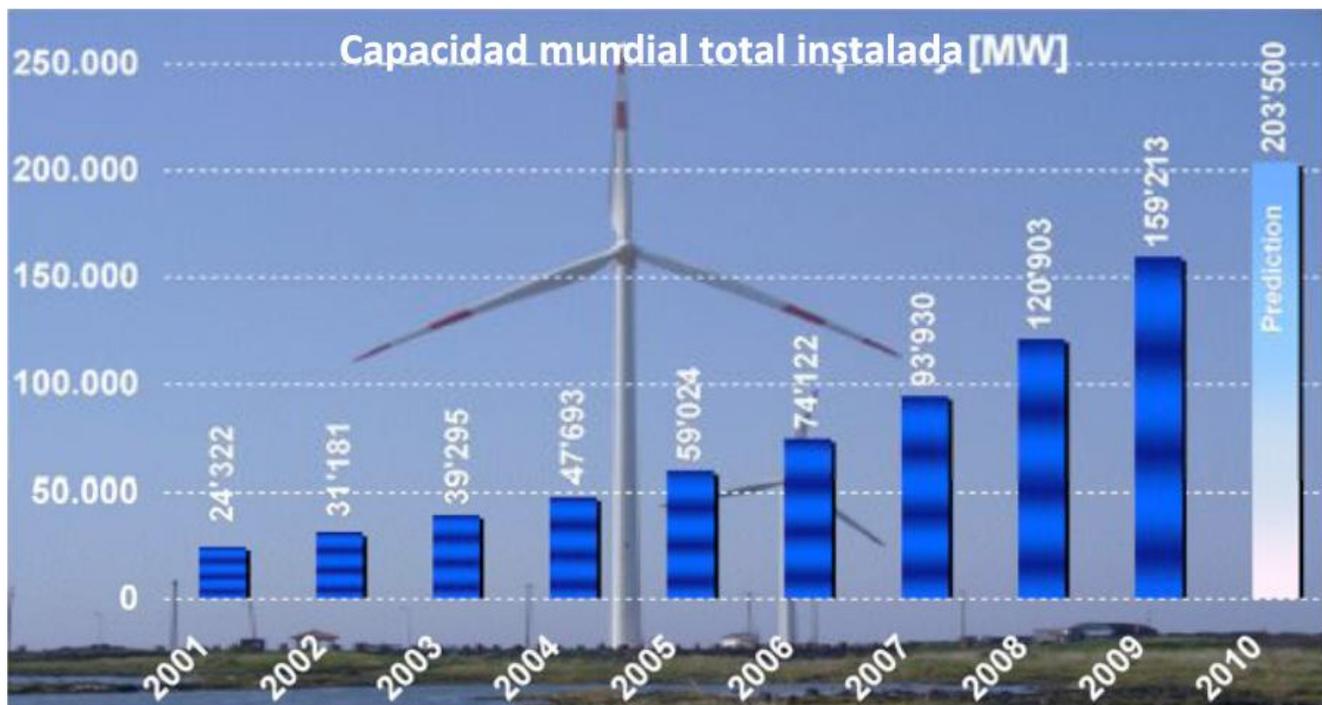




Capacidad eólica mundial instalada, 2009		
País	MW	Participación (%)
1. EE. UU.	35,159	22.08
2. China	26,010	16.33
3. Alemania	25,777	16.19
4. España	19,149	12.02
5. India	10,925	6.86
6. Italia	4,850	3.04
7. Francia	4,521	2.83
8. Reino Unido	4,092	2.57
9. Portugal	3,535	2.22
10. Dinamarca	3,497	2.19
27. México	402	0.25
Resto del mundo	21,296.4	13.31
Total	159,213.4	

Tabla 1. 3. Capacidad eólica mundial instalada a 2009.¹⁹

De los 159,213 MW instalados en 2009, 38,212 MW fueron añadidos en este año, con lo cual mostró una razón de crecimiento del 31.7%, el mayor valor alcanzado desde 2001.



Gráfica 1. 4. Capacidad mundial total instalada.²⁰

¹⁹ Elaboración propia con datos de World Wind Energy Report 2009

²⁰ World Wind Energy Report 2009, WWEA



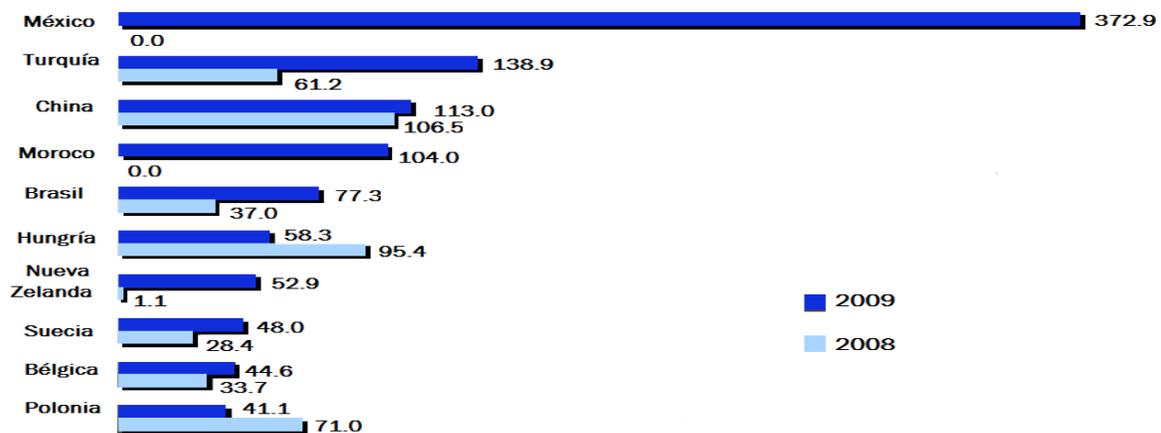


Gráfica 1. 5. Capacidad Nueva Instalada 2001-2010.²¹

Estados Unidos se mantuvo en la posición número uno en términos de capacidad total instalada y China se convirtió en el número dos en capacidad total, solo ligeramente alejada de Alemania, ambas cerca de 26,000MW de capacidad instalada.

En términos de nuevas instalaciones, Asia es el continente con mayor cantidad con un 40.4%, seguida por América del Norte con un 28.4%, debido al alentador crecimiento con más del doble en instalaciones principalmente debido a Brasil y México, y Europa retrocede al tercer lugar con el 27.3%.

Los 10 países principales con mayor tasa de crecimiento



Gráfica 1. 6. Principales países con mayor tasa de crecimiento.²²

Como se observa en la figura anterior, la mayor tasa de crecimiento con más del 100% ocurrió en México donde se cuadruplicó la capacidad instalada, también Turquía y China con 113% y Marruecos 104% aproximadamente.

²¹ World Wind Energy Report 2009, WWEA

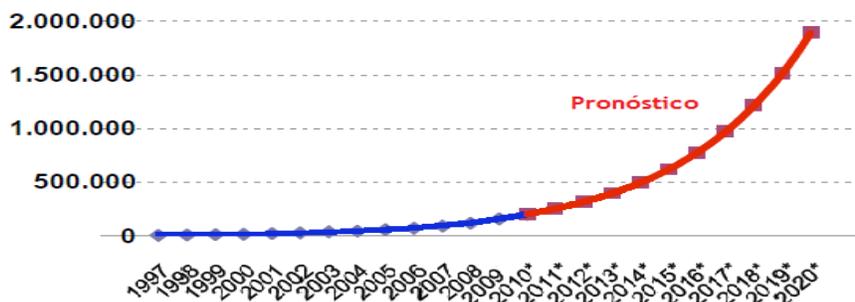
²² Ibidem.





El sector eólico mostró un crecimiento impresionante en el 2009 a pesar de la crisis financiera mundial, asumiendo que la situación financiera global mejore sustancialmente en el futuro cercano, muchas otras regiones estarán en posibilidad de incrementar los fondos que son necesarios para acelerar el desarrollo de la energía eólica.

Capacidad eólica total instalada 1997-2020 [MW]
Desarrollo y pronóstico



Gráfica 1. 7. Capacidad eólica total instalada 1997-2020.²³

Basado en las tasas aceleradas de crecimiento, la Asociación Mundial de Energía Eólica (WWEA por sus siglas en inglés) incrementa sus expectativas para el crecimiento futuro de la capacidad eólica global: al final de 2020, al menos 1.9 TW instalados podrían esperarse a nivel mundial²⁴, 0.4 TW más que el pronóstico anterior.

La mayor parte de este crecimiento se considera que tienen lugar en los EE.UU. y China, mientras que Europa pierde su liderazgo. La región de Asia se espera que supere América del Norte para 2015 en el total de capacidad de energía eólica.²⁵

Un estudio publicado por el “Energy Watch Group” revela que para el año 2025 es muy probable que se alcancen los 7.5 TW instalados alrededor del mundo, produciendo un total de 16,400 TWh. Las energías renovables conjuntamente excederían el 50 % del suministro global de energía²⁶.

La capacidad eólica instalada fuera de costa (offshore) continuó creciendo en el 2009. Al final del año los parques eólicos instalados en el mar se encontraban en 12 países, diez de ellos en Europa y algunas instalaciones menores en China y Japón. La capacidad total instalada alcanzó 2 GW, 1.2% de la capacidad total instalada mundial.

Se agregaron 454 MW de turbinas eólicas offshore en 2009. Los mayores parques eólicos offshore se instalaron en Dinamarca, Reino Unido, Alemania, Suecia y China. En Dinamarca se inauguró el mayor parque eólico offshore en el Mar del Norte: Homs Rev II, 209 MW. China instaló su primer y mayor parque offshore, en un país no europeo, con 21 MW, cerca de Shanghai.

²³ World Wind Energy Report 2009

²⁴ Idem.

²⁵ www.emerging-energy.com/

²⁶ World Wind Energy Report 2008





1.2.3 Tecnología de Aprovechamiento Energético.

Componentes del sistema.

Un sistema de energía eólica comprende una o más unidades de aerogeneradores operando eléctricamente en paralelo. Cada turbina está hecha de los siguientes componentes básicos:

- Estructura de la torre.
- Rotor con 2 o 3 palas unidas al eje.
- Asta con engranaje mecánico.
- Generador eléctrico.
- Mecanismo de orientación, tal como la aleta de la cola.
- Sensores y control.

Debido al gran momento de inercia del rotor, problemas de diseño incluyen en el comienzo, la velocidad de control durante la operación de producir energía, y la detención de la turbina cuando se requiere. Las corrientes de Foucault u otro tipo de freno son usados para detener la turbina en caso de emergencia o por mantenimiento de rutina.

En un moderno parque eólico, cada turbina debe tener su propio sistema de control para establecer el marco operacional y funciones de seguridad desde un lugar remoto. Debe también tener uno o más de los siguientes componentes adicionales:

- Anemómetros, miden la velocidad del viento y transmiten los datos a el controlador.
- Sensores para monitorear y regular varios mecanismos y parámetros eléctricos. Una turbina de 1MW puede tener cientos de sensores.
- Puesto de controlador, inicia la máquina en las velocidades del viento de 8 a 15 mph y corta en 50 a 70 mph para proteger las palas de sobrecargas y el generador de sobrecalentamiento.
- Electrónica de potencia para convertir y condicionar la potencia a las normas requeridas.
- Controladores electrónicos, usualmente se incorpora una computadora.
- Batería para mejorar la disponibilidad de carga en una planta independiente.
- Enlace de transmisión para conectar la planta al área de red.

a. Torre.

La torre eólica soporta el rotor y la góndola que contiene el engranaje mecánico, el generador eléctrico, el mecanismo de orientación y el puesto de controlador.



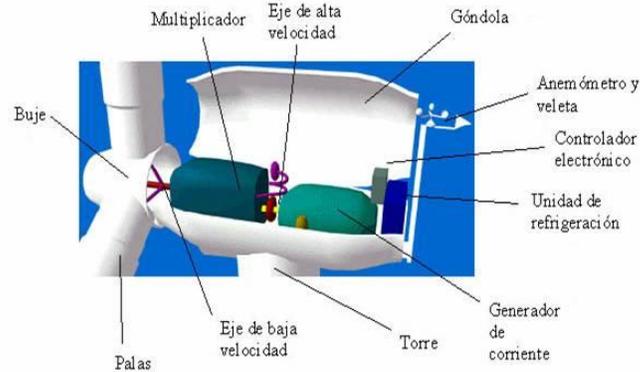


Figura 1- 18. Partes de un aerogenerador.

La altura de la torre esta en el rango de 20 a 50 metros. Para medidas de una turbina mediana y grande, la altura de la torre es aproximadamente igual al diámetro del rotor.

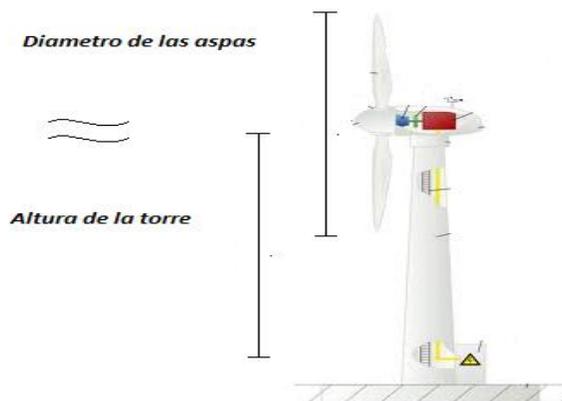


Figura 1- 19. Relación de medidas de un aerogenerador.

Las turbinas pequeñas son generalmente montadas en la torre a pocos diámetros de altura del rotor. De lo contrario, podrían sufrir fatiga debido a la escasa velocidad del viento encontrada cerca de la superficie de la tierra.

Ambas torres de concreto y de acero están disponibles y son usadas. Las torres deben tener por lo menos 25 o 30 metros de altura para evitar causar turbulencia causada por arboles y construcciones. La utilidad de las torres de escala son usualmente dos veces más altas para tomar ventaja de los vientos más rápidos a esas alturas.

La cuestión principal en el diseño de la torre es la estructura dinámica. La vibración de la torre y el resultado de ciclos de cansancio debajo de la velocidad de fluctuación son evitados en el diseño. Estas precauciones requieren eludir toda frecuencia de resonancia de la torre, el rotor, y la góndola de las frecuencias del viento de fluctuación. Un margen suficiente puede ser obtenido manteniendo entre las dos series de frecuencias en todos los modos de vibración.





Las frecuencias de fluctuación del viento son encontradas desde la medición en el sitio en cuestión. Grandes grúas son generalmente requeridas para instalar las torres eólicas. Gradualmente incremento la altura de la torre, sin embargo, está trayendo una nueva dimensión en la instalación.

b. Turbinas.

Las turbinas eólicas son manufacturadas en un rango de medidas desde unos pocos kW para independientes aplicaciones remotas hasta unos pocos MW cada uno para una escala de utilidad de generación eléctrica. La capacidad de las turbinas han estado incrementándose a un ritmo constante. El promedio del tamaño de una turbina instalada mundial en 2002 fue por encima de 1MW. Para finales del 2003, cerca de 1200 turbinas de 1.5MW realizadas por GE solo se han instalado y están en funcionamiento.

Las turbinas ofrecen velocidad variable, control en las palas en una estructura más suave de apoyo, resultando una base costo efectiva. Su velocidad de viento nominal es 14 m/seg con velocidad de corte en 3.5 m/seg y de apagado en 25 m/seg. El diámetro de la pala es 104 m con la altura de buje de 100m en tierra y 75 m en el mar.

El peso de una turbina de 5MW puede variar entre 150 a 300 toneladas en la góndola y 70 a 100 en las aspas del rotor, dependiendo de las tecnologías de fabricación adoptadas en el momento del diseño.

La obtención de una turbina requiere especificaciones detalladas, las cuales son ofrecidas a la medida de las especificaciones de fabricación. Los fabricantes líderes de turbinas eólicas en el mundo son enlistados a continuación:

Proveedor	% de participación, 2009
Vestas (Dinamarca)	12.5
GE Wind Energy (Estados Unidos)	12.4
Sinovel (China – PRC)	9.2
Enercon (Alemania)	8.5
Goldwind (China – PRC)	7.2
Gamesa (España)	6.7
Dongfang Electric (China)	6.5
Suzlon (India)	6.4
Siemens (Dinamarca / Alemania)	5.9
REpower (Alemania)	3.4

Tabla 1. 4. Fabricantes líderes de turbinas eólicas (2009).²⁷

c. Palas

Las modernas turbinas eólicas tienen 2 o 3 palas, las cuales son cuidadosamente construidas con perfiles que utilizan principios aerodinámicos para capturar tanta potencia como sea posible. El perfil de diseño usa la parte superior de la superficie, mientras que los restos de la superficie de abajo es un tanto uniforme. Por el principio de Bernoulli, un “impulso” es creado en la superficie de sustentación por la diferencia de presión en el flujo del viento sobre la parte superior e inferior de la superficie de la lamina. Esta fuerza aerodinámica vuela alto, pero gira en las palas de la turbina sobre el eje. En adición a la fuerza de impulso en las palas, una fuerza de arrastre

²⁷ <http://caps.fool.com/blogs/top-10-wind-power-companies/527185>





es creada, las cuales actúan perpendicularmente hacia las palas, impidiendo el efecto impulso y desacelerando el freno del rotor.

Las palas del rotor son las primeras partes visibles de un aerogenerador, y representa la vanguardia de la ingeniería aerodinámica. La tensión mecánica constante debido a las fuerzas centrífugas y el cansancio por las vibraciones continuas hacen que el diseño de las palas tengan débil el impulso mecánico en el sistema. Extensos esfuerzos de diseño son necesarios para evitar que por un cansancio prematuro fallen las palas. Un rápido incremento en el tamaño de la turbina ha sido recientemente posible por el rápido progreso en la tecnología de las palas del rotor, incluyendo la aparición del carbono y la base de fibra de vidrio de compuestos de epoxy. Las palas de la turbina están hechas de madera de alta densidad o fibra de vidrio y componentes de epoxy.

El diseño aerodinámico de las pala es muy importante, como el determinar el potencial de energía capturada. Las palas de pequeñas y grandes máquinas tienen significativamente diferentes filosofías de diseño. La maquina pequeña sentada en una torre relativamente más grande que el diámetro de la pala, y generalmente desatendida, requiere un diseño de bajo mantenimiento. Por otro lado, una maquina grande tiende a optimizar el rendimiento aerodinámico para la captura máxima posible de energía. En cualquiera de los casos, el costo de la pala se mantiene generalmente por debajo del 10% del total del costo de instalación.

d. Control de velocidades.

La tecnología de las turbinas eólicas ha cambiado significativamente en los últimos 25 años. Las grandes turbinas eólicas son instaladas teniendo que ser diseñadas con velocidad variable, incorporando un control de paso y electrónica de potencia. Las pequeñas maquinas, por otro lado, son simples, energía de bajo costo y control de velocidad.

Tipos de aerogeneradores

Actualmente existe una gran variedad de modelos de aerogeneradores que se diferencian entre ellos por su potencia, por el número de palas o incluso por la manera de producir energía eléctrica atendiendo a diferentes criterios:

1. Por la posición del aerogenerador
 - Eje vertical: su característica principal es que el eje de rotación se encuentra en posición perpendicular al suelo
1. Darrieus: consisten en dos o tres arcos que giran alrededor del eje
2. Panemonas: cuatro o más semicírculos unidos al eje central.
3. Savonius: Dos o más filas de semicilindros colocados de forma opuesta.





Figura 1- 20. Aerogenerador tipo Darrieus.



Figura 1- 21. Aerogenerador tipo Panémona.



Figura 1- 22. Aerogenerador tipo Savonius.

- Eje horizontal: son los más habituales y en los que se ha invertido un mayor esfuerzo para su mejora en los últimos años. Se les denomina también “HAWTs”



Figura 1- 23. Aerogenerador horizontal.

2. Por la orientación respecto al viento

- A sobre viento: la mayoría de los aerogeneradores tienen este diseño. En este tipo de aerogeneradores el viento empieza a desviarse de la torre antes de llegar, aunque la torre sea redonda y lisa.
- A bajo viento: las máquinas de corriente baja tienen el rotor situado en la cara de bajo viento de la torre. Pueden ser construidos sin un mecanismo de orientación.





1.2.4 Costos.

El costo de la unidad de energía producida en instalaciones eólicas se deduce de un cálculo bastante complejo. Para su evaluación se deben tener en cuenta diversos factores entre los cuales:

- ❖ El costo inicial o inversión inicial, el costo del aerogenerador incide en aproximadamente el 60 a 70%.
- ❖ Debe considerarse la vida útil de la instalación (aproximadamente 20 años) y la amortización de este costo;
- ❖ Los costos financieros;
- ❖ Los costos de operación y mantenimiento (variables entre el 1 y el 3% de la inversión);
- ❖ La energía global producida en un período de un año. Ésta es función de las características del aerogenerador y de las características del viento en el lugar donde se ha instalado.
- ❖ Ya que la energía eólica no tiene un costo competitivo con los recursos térmicos de la generación de electricidad, el modelo de desarrollo ha sido muy dependiente de los apoyos mecánicos provistos por los gobiernos nacionales.

Los costos de energía eólica han disminuido de manera constante y el costo de una típica instalación para un parque eólico onshore está alrededor de \$1,600 Dólares/kW, y para un parque eólico offshore es cerca de \$2,400-3,000 Dólares/kW. Los gastos de electricidad varían, en parte de las variaciones en la velocidad del viento y en parte a los diferentes marcos institucionales. Los precios pagados por la electricidad de generación eólica en su mayoría en el rango de \$52-90 Dólares/MWh y en el extremo inferior de este rango es competitivo con el gas y el carbón.

Un estudio de los futuros costos de la Comisión de Desarrollo Sustentable (SDC, 2005) sugiere que los costos de instalación terrestre para el 2020 estarán entre 55% y 92% del nivel de 2001. Aplicando un cauteloso multiplicador de 81% a el nivel del 2005 sugiere que el nivel del 2020 puede ser alrededor de \$1,250 Dólares/kW. Un proyección más optimista del costo del Consejo de Energía Eólica Mundial sugiere \$1,000 Dólares/kW.

La energía eólica offshore es menos desarrollada, con una capacidad mundial alrededor de 750MW, pero existen planes substanciales en proyecto. Dos de las estimaciones en el reporte de la Comisión de Desarrollo Sustentable sugiere que los costos de instalación para el 2020 serán cerca del 57% del nivel del 2003.





1.2.5 Ventajas.

- La energía eólica es una fuerte alternativa de otros combustibles al cambio climático, ya que no produce efecto invernadero.
- Es un tipo de energía renovable ya que tiene su origen en procesos atmosféricos.
- Es una energía limpia que no emite gases atmosféricos.
- Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo en zonas desérticas, próximas a la costa, en laderas áridas y muy empinadas para ser cultivables.
- Puede convivir con otros usos del suelo, por ejemplo prados para uso ganadero o cultivos bajos como trigo, maíz, papas, remolacha, etc.
- No genera residuos peligrosos.
- Está en la superficie y por tanto, no requiere procesos de extracción.
- Su manejo y posibles accidentes en su explotación no implican riesgos ambientales de alto impacto, tales como derrames por transporte, explosión, incendios, etc.
- Su instalación es rápida, entre 6 meses y un año.
- Crea puestos de trabajo en las zonas en las que se construye y en las plantas de ensamblaje.
- Importante impulso al desarrollo regional.
- Atracción de la inversión privada.
- Creación de pequeñas y medianas empresas.
- Estando integrado a sistemas interconectados de energía eléctrica, permite el ahorro de combustible fósil, o agua almacenada en los embalses.





1.2.6 Desventajas .

- Los aerogeneradores emiten ruido generado por las aspas y la maquinaria
- Una central eólica no puede regular su carga, es decir, se debe tomar toda la energía que proporciona
- Los aerogeneradores, al igual que otras estructuras, a veces puede interferencia en las señales electromagnéticas de comunicación, incluida la televisión.
- Se debe tener especial cuidado a la hora de seleccionar un parque si en las inmediaciones migran aves, por el riesgo que tiene las aves al impactar con las palas, aunque existen soluciones al respecto como pintar en colores llamativos las palas, situar los parques eólicos adecuadamente dejando "pasillos" a las aves, e, incluso en casos extremos hacer un seguimiento de las aves por radar llegando a parar las turbinas para evitar las colisiones.
- El aire al ser un fluido de pequeño peso específico, implica fabricar máquinas grandes y en consecuencia el precio de estas es elevado. Su altura puede ser de hasta 50 metros, en tanto que la envergadura total de sus aspas alcanza la veintena de metros, lo cual encarece su producción.
- Produce un impacto visual estético inevitable, ya que por sus características precisa unos emplazamientos que normalmente resultan ser los que más evidencian la presencia de las máquinas (cerros, colinas, litoral). En este sentido, la implantación de la energía eólica a gran escala, puede producir una alteración clara sobre el paisaje, que deberá ser evaluada en función de la situación previa existente en cada localización.
- Una desventaja muy importante es el hecho que generalmente, los periodos de máxima demanda (durante el día) y máxima generación (por la noche cuando los vientos están más fuertes) no coinciden, y también, por supuesto, no hay siempre viento. Por eso hay que proveer fuentes de energía secundarias para los periodos de alta demanda y es difícil usar la energía extra producida durante la noche. Sin embargo, hay diversos métodos para capturar y guardar la energía extra durante periodos de baja demanda y suministrarla cuando es necesario.
- No se puede regular su carga.





Capítulo 2. El Sistema Eléctrico Mexicano





2.1 Sector Eléctrico Mexicano.

El papel que desempeña el sector energético es fundamental en la vida nacional, ya que es un factor decisivo para impulsar el crecimiento económico y el desarrollo social, incrementar el número de empleos, reducir la pobreza, la desigualdad y mejorar la productividad del país y las oportunidades para todos los mexicanos.

El sector energía tiene un papel estratégico en la vida nacional al generar la electricidad y *energéticos* necesarios para las actividades productivas y la prestación de servicios públicos, aportar importantes ingresos fiscales y emplear directamente a un gran número de trabajadores. El sector energético representa un espacio económico totalmente integrado. Esta condición le permite promover el uso racional de los recursos que le son asignados, mediante la especialización de las entidades en funciones y actividades específicas.

A tal efecto la Secretaría de Energía, como Dependencia del Poder Ejecutivo Federal, tiene a su cargo el ejercicio de las atribuciones que le encomiendan las leyes, así como los reglamentos, decretos, acuerdos y órdenes del Presidente de los Estados Unidos Mexicanos. La Secretaría, para el ejercicio de sus atribuciones y cumplimiento de sus obligaciones como coordinadora de sector realiza, interviene y sujeta sus relaciones con las entidades paraestatales agrupadas, conforme a lo dispuesto en los artículos 48 y 49 de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (coordinar la programación y presupuestación, conocer la operación, evaluar los resultados y participar en los órganos de gobierno de las entidades agrupadas en el sector a su cargo, agrupando en subsectores, cuando así convenga para facilitar su coordinación y dar congruencia al funcionamiento) y 10, 80 y 90 de la Ley Federal de las Entidades Paraestatales (las entidades paraestatales deberán proporcionar a las demás entidades del sector donde se encuentren agrupadas, la información y datos que les soliciten así como los que les requieran las Secretarías de Estado y Departamentos Administrativos).²⁸

Además, la política energética del país busca asegurar el suministro de los energéticos necesarios para el desarrollo del país a precios competitivos, mitigando el impacto ambiental y operando con estándares internacionales de calidad; promoviendo también el uso racional de la energía y la diversificación de las fuentes primarias.

²⁸ http://www.sener.gob.mx/webSener/res/0/Tercer%20Informe%20de%20Labores_SENER.pdf





2.2 La historia eléctrica en México.

En 1879, en la fábrica de hilados y tejidos La Americana, en la ciudad de León, Guanajuato, fue introducida por primera vez en México la energía eléctrica, al instalarse una planta termoeléctrica para su servicio; otras fábricas y minas también la adoptaron. Muy pronto comenzaron a ser alumbrados los centros urbanos más desarrollados; así, en 1880, fueron instalados los primeros focos en el zócalo de la ciudad de México y poco después, la antigua calle de Plateros -hoy Madero- fue iluminada.

El año de 1881 marca, en cierto modo, el principio del alumbrado eléctrico de la capital de la República. En ese año la Compañía de Gas y Luz eléctrica se encargó de los 2000 faroles de gas y 500 faroles de aceite, de la canalización del gas para el alumbrado público y de los 50 focos de luz eléctrica que existían. Para 1889 en Batopilas, Chihuahua, se instaló la primera planta hidroeléctrica que tuvo una capacidad de 22.38 kW

Los servicios eléctricos tuvieron en México un primer mercado: el surgido por el trabajo de minas durante los procesos de extracción, fundición y refinación de metales, y el derivado de una industria incipiente que fue creciendo hasta concretarse en fabricas de hilados y tejidos, molinos de harina, fabrica de cigarros y cervezas, vidrios, madera, etc.

La aparición de inversionistas extranjeros en México, sería una fase importante en el proceso de colonización del país, que mas tarde libraría duras batallas para rescatar lo que era suyo, es decir, hacer valer su soberanía sobre sus recursos naturales.

En 1902, México se mostraba como el país de las riquezas naturales no explotadas, y es entonces que Fred Stark Person quiso comprobar la posibilidad de aprovechar los recursos hidráulicos que ofrecía la región de Necaxa. A iniciativa suya, se organizó en Ottawa, Canadá, The Mexican Light and Power, Co. Ltd., empresa cuyo primer paso consistió en adquirir los derechos de explotación de las caídas de agua, ya en poder de una compañía francesa, la Societé Du Necaxa, creada por un doctor francés de apellido Vaquiere o Vagnié, en 1899, quien intuyó el potencial de fuerza motriz que tendría el río Totolapa, conocido como Necaxa o Alto Tecolutla que desemboca en el Golfo de México al llamarle la atención los comentarios del periodista mexicano José Justo Gómez de la Cortina quien la visitó en 1850 y de Antonio García Cubas quien escribió en "Un viaje por la Sierra de Huauchinango" sobre dos caídas de agua: "Salto Grande" de 198 metros de altura y "Salto Chico" de 120.

Obtenida la concesión para encargarse de la iluminación de la capital del país, la The Mexican Light siguió creciendo y a los tres años de existencia absorbió a 3 empresas de actividades similares en sus zonas de operación: Cia. Mexicana de Electricidad, Cia. Mexicana de gas y luz eléctrica y la Cia. Explotadora de las Fuerzas Eléctricas de San Ildefonso; mientras construía su planta en Necaxa de 6 unidades y con 31,500MW. Así, una vez absorbidas estas empresas y al atender las necesidades de la capital, la The Mexican Light se alzaba en el valle de México como una entidad hegemónica de capital extranjero.

En 1906, la misma empresa obtuvo nuevas concesiones del gobierno federal y de las autoridades estatales y municipales, haciéndose cargo de la demanda de todo el Distrito Federal y de los estados de Puebla, Hidalgo, México y Michoacán, para ello adquirió las instalaciones de distribución de la Robert Electric Co. y de la Compañía Irrigadora de Luz y Fuerza del estado de Hidalgo, conecto al sistema a la empresa suministradora de





Amecameca, México, para ampliar el servicio a la región; en Cuautitlán adquirió la Compañía de Luz y Fuerza de Guadalupe, y más tarde compro la de El Oro, que operaba en Acámbaro y Cuautitlán.

El grupo de la Compañía Eléctrica de Chaápala, de capital extranjero, tuvo interés en el estado de Jalisco. Para 1907 se reorganiza bajo el nombre de Guadalajara Tramway, Light and Power, Co., había instalado las plantas de el Salto Potrero y las Juntas. En 1909 se formo la Compañía hidroeléctrica irrigadora de Chapala, en substitución, y en los años subsiguientes fue construida la planta hidroeléctrica de Puente Grande, que en 1928 llegó a tener una capacidad 14,400kw. En 1921, la capacidad de la de Las Juntas aumentó 7,400 kw.

En este grupo figuraron, como afiliadas, la Compañía Eléctrica de Morelia, la Compañía Eléctrica Guzmán, La Hidroeléctrica Occidental, La Compañía Electrica de Manzanillo y la Compañía Hidroeléctrica Mexicana.

Durante los años de 1928 y 1929, la American and Foreign Power Co., inicio sus actividades adquiriendo empresas ya establecidas e integrando otras para formar un solo conjunto que fue administrado por la Compañía impulsora de empresas eléctricas.

Para los años 30's la población creció, y con ello la demanda en el servicio y esto obligó a la The Mexican Light a elevar la capacidad de la planta de Necaxa y a modernizar las de Nonoalco y Tepéxic. En esos años adquirió la planta hidroeléctrica del rio Alameda, la Compañía de luz y Fuerza de Toluca, la de Temascaltepec y la de Cuernavaca.

Por más de medio siglo, ese grupo empresarial extranjero suministro energía eléctrica al Distrito Federal y a los Estados de Hidalgo, México, Morelos y una buena parte de los de Michoacán, Guanajuato, Querétaro, Puebla y Guerrero.

Hacia 1937 México tenía 18.3 millones de habitantes y el panorama de la electrificación en México era el correspondiente a un territorio ocupado económicamente y repartido entre la The Mexican Light, la Compañía Eléctrica de Chapala y la American Foreign quienes ofrecían el servicio de energía eléctrica a siete millones de mexicanos, que representaban el 38% de la población. La oferta no satisfacía la demanda, las interrupciones en el servicio eran constantes y las tarifas muy elevadas, situaciones que no permitían el desarrollo económico del país. Las empresas se dedicaban principalmente a los mercados urbanos más redituables sin contemplar en sus planes de expansión a las poblaciones rurales, donde todavía habitaba el 67% de la población. Por lo que afloró el descontento popular y fue necesario adoptar medidas firmes contra la soberbia de esas empresas. Poco a poco fue haciéndose más patente la necesidad de que el estado interviniera para normalizar la situación: además de dictarse las medidas administrativas necesarias para obligar a las empresas a mejorar sus servicios, era preciso crear un organismo que, en manos del Estado, diera a la electrificación un sentido social más moderno y más justo.

Los ingenieros Julio García y José Herrera y Lasso, que se habían enfrentado a estos problemas desde sus cargos en la entonces llamada Secretaria de Industria, Comercio y Trabajo, y el presidente constitucional substituto, general Abelardo L. Rodríguez, tuvieron la idea de hacer intervenir al Estado Mexicano en lo que hasta esos momentos era propiedad de las compañías extranjeras, y enviaron al Congreso de la Unión, el 2 de diciembre de 1933, la iniciativa para la creación de la Comisión Federal de la Electricidad (CFE).





Aprobado el decreto por el congreso de la unión, el día 29 de diciembre del mismo año, fue publicado en diario oficial de la nación el 20 de enero de 1934. Los objetivos serian los de organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, sin propósitos de lucro y en beneficio de los intereses generales.

Los tramite legales para formalizar la creación del nuevo organismo llamado CFE, continuaron su proceso de ajuste hasta que el ejecutivo federal, ya durante la presidencia del Gral. Lázaro Cárdenas (1934 -40),expidió el acuerdo de fecha 12 de febrero de 1937, ordenando la inmediata creación de la Comisión Federal de Electricidad, y posteriormente el 15 de abril de 1937 expidió un decreto que reformaba la base primera del decreto original, siendo que el 14 de agosto de 1937 se promulgó la ley para la creación de CFE.

La primera obra de importancia que se emprendería sería la de la construcción de la planta hidroeléctrica de Ixtapatongo, México, que serviría para llevar energía eléctrica a la capital de la república. Para ello se contaba con algunos estudios hechos por la Compañía de Fuerza del Suroeste de México, filial de la The Mexican Light.

En los años de 1940 y 1941, inició el proceso de nacionalización de la industria eléctrica, el gobierno federal adquirió las empresas mencionadas por conducto de la nacional financiera que, a su vez, transmitió sus acciones a la Nueva Compañía Eléctrica de Chapala, que se convirtió en una sociedad anónima de participación estatal con capital netamente mexicano.

Para el 11 de enero de 1949, el presidente de la república, Lic. Miguel Alemán, expidió el decreto que hizo de la CFE un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, su acción fue de tal modo que en el campo de la producción de electricidad, los principales consorcios empezaron a perder terreno.

Desde su creación, el Estado Mexicano tomo parte activa en el área de servicio público de energía eléctrica y de las inversiones.

A fines de 1960, el Organismo Estatal poseía el 54 % de la capacidad instalada de energía eléctrica. Las principales fuentes de energía con las que se contaba hasta entonces eran la hidráulica y la obtenida de la utilización del petróleo. La geotérmica se encontraba en etapa de exploración, en escala modesta., pero en Pathé, Hgo., ya existía una pequeña planta de 500 kw movida por energía geotérmica.

Conforme a su tiempo y circunstancia, la histórica nacionalización de la industria eléctrica fue posible alcanzarla por la vía de negociaciones financieras y estas se iniciaron en abril de 1960, con la compra de empresas que tenían a su cargo el suministro de la energía eléctrica. Pero no fue una operación sencilla, por lo que hubo que emprender infatigables y lucidas acciones políticas y financieras tendientes a fijar las condiciones de compra más favorables para México.

El resultado de las negociaciones fue el siguiente: el gobierno adquirió, en 52 millones de dólares, el 90% de las acciones de The Mexican Light, el 27 de septiembre (fecha que marco la historia de México como el día de la nacionalización de la industria eléctrica), y se comprometió a saldar los pasivos de esa empresa en 78 millones, pero fueron necesarios únicamente 70 para obtener las acciones completas, En septiembre de ese año las empresas adquiridas fueron integradas al patrimonio nacional y las de American Foreign quedaron organizadas





en seis divisiones: Norte, Nacional, Centro, Sureste, Mérida y Tampico, culminando así un cuidadoso y acertado plan de compra, tras de la airosa incursión del gobierno de México en el campo de las finanzas internacionales.

Otro paso importante en estas operaciones fue el del perfeccionamiento del contrato de compra-venta de los bienes y derechos de la compañía mexicana de luz y fuerza motriz: con ellos la nación adquirió 19 plantas generadoras que servían al Distrito Federal y a los Estados de Puebla, México, Michoacán, Morelos e Hidalgo.

El presidente Adolfo López Mateos, el 1º de septiembre de 1960, en su informe de gobierno relató los pasos que había dado el gobierno de la República para llegar a la nacionalización de la industria eléctrica, con lo cual promovió el Artículo 27 Constitucional, el cual estipulaba que no se otorgarían concesiones a particulares para la prestación del servicio público de energía eléctrica.

La dimensión del sector eléctrico, a partir de que fue nacionalizada, entre los años 1960 y 1976 fue quintuplicada aproximadamente, tanto en capacidad instalada como en generación de energía eléctrica.

Ya para fines de de 1960 el sector eléctrico comenzó a desarrollar un intenso trabajo de integración y de organización al adquirir los bienes de las empresas afiliadas de Compañía Impulsora de Empresas Eléctricas, así como la mayoría de las acciones de Cía. Mexicana de Luz y Fuerza Motriz y subsidiarias.

En 1961 el panorama era diferente. La capacidad total instalada en el país ascendía a 3,250 MW; CFE vendía el 25% de la energía que producía y su participación en la propiedad de centrales generadoras de electricidad pasó de 0% en 1940 al 54%. En poco más de 20 años la CFE había cumplido uno de sus más importantes cometidos: ser la entidad rectora en la generación de energía eléctrica.

Para 1962 se tenían 2 449 583 consumidores, y se contaba con líneas en 115 kV y de 161 kV. En este año se crea la Oficina Nacional de Operación de Sistemas para el control de la energía, que en 1973 se convertiría en el Despacho Nacional de Carga y para 1977 en el Centro Nacional de Control de Energía.

En esa década la inversión pública se destinó en más de 50% a obras de infraestructura. Se construyeron importantes centros generadores, entre ellos los de Infiernillo y Temascal, y se instalaron otras plantas generadoras alcanzando, en 1971, una capacidad instalada de 7,874 MW. A mediados de los años sesenta se contaría con el primer enlace de 400 kV, para la planta de Infiernillo.

Para 1972, CFE adquirió las acciones de la única empresa privada importante que todavía funcionaba. De esta manera, México obtuvo el control de la prestación del servicio público de energía eléctrica.

Al finalizar esa década se superó el reto de sostener el ritmo de crecimiento al instalarse, entre 1970 y 1980, centrales generadoras que dieron una capacidad instalada de 17,360 MW.

En los años 80 el crecimiento de la infraestructura eléctrica fue menor que en la década anterior, principalmente por la disminución en la asignación de recursos a la CFE. No obstante, en 1991 la capacidad instalada ascendió a 26,797 MW.





En 1983 se emite una nueva Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. Se crea la figura de autoabastecimiento, que autoriza a los grandes consumidores a instalar plantas de generación para surtir su consumo; la definición de las tarifas es responsabilidad de la Secretaría de Hacienda y la supervisión de la Secretaría de Energía y Minas.

En diciembre de 1992 se emite la Ley de la Industria Eléctrica que está vigente, se crearon las figuras de autoabastecimiento, cogeneración, productor externo, pequeño productor, importador y exportador, las cuales no constituyen servicio público que es responsabilidad de la CFE. Se autoriza a que las líneas de transmisión puedan ser usadas por los permisionarios autorizados para transmitir electricidad de sus centros de generación a sus puntos de consumo. Se establece el pago por parte de CFE al gobierno federal de una cuota por el aprovechamiento de los activos, en la práctica es del 9 por ciento del valor. Es importante mencionar que la Ley de referencia indica en su artículo 46: Los montos que se deriven del pago del aprovechamiento mencionado se destinarán para complementar las aportaciones que efectúa el gobierno federal a la Comisión Federal de Electricidad para inversión en nuevas obras de infraestructura eléctrica hasta el monto asignado para tal efecto, conforme al presupuesto de egresos de la Federación y se aplicarán de acuerdo con los preceptos autorizados.

A inicios del año 2000 se tenía ya una capacidad instalada de generación de 35,385 MW, cobertura del servicio eléctrico del 94.70% a nivel nacional, una red de transmisión y distribución de 614,653 kms, lo que equivale a más de 15 vueltas completas a la Tierra y más de 18.6 millones de usuarios, incorporando casi un millón cada año.

2.2.1 Luz y Fuerza del Centro. (LyFC)

2.2.1.1 Breve Reseña.

El inicio de la industria eléctrica en nuestro país se remonta a finales del siglo XIX; sin embargo, fue hasta inicios del siglo XX cuando su explotación cobró auge y la inversión privada, mayoritariamente extranjera, predominó para el año de 1930, controlando el 70 por ciento de la capacidad de generación eléctrica instalada.

En 1911 se crea la Liga Mexicana de Electricistas y en 1914 se constituye el Sindicato Mexicano de Electricistas (SME).

Como consecuencia de la inconformidad hacia las empresas eléctricas, por parte de los usuarios domésticos, industriales y agrícolas, así como de la demanda creciente a favor de la nacionalización de la industria eléctrica, mediante decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de agosto de 1937, se expidió la Ley que crea la Comisión Federal de Electricidad, encargada de la organización y dirección de un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos y sin propósitos de lucro y el 11 de febrero de 1939 se expidió la Ley de la Industria Eléctrica, tendiente a regular a las empresas dedicadas a esta actividad.

Para 1940 la cobertura del servicio sólo alcanzaba a la mitad de la población, misma que se consideraba de mala calidad por virtud de las continuas y prolongadas interrupciones, por las variaciones que se presentaban en voltaje y frecuencia, así como por el alto precio de las tarifas.





Ante la necesidad de incrementar la oferta de energía eléctrica para atender la creciente demanda que el progreso del país requería, en 1960 el Gobierno Federal ordenó la nacionalización de la industria eléctrica, mediante la adquisición de las acciones de las empresas concesionarias, y decretó la exclusividad de la nación para generación, conducción, transformación, distribución y abastecimiento de energía eléctrica que tenga por objeto la prestación del servicio público, mediante la adición de un párrafo sexto al artículo 27 constitucional, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 29 de diciembre de 1960, señalando que en esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la Nación aprovechará los bienes naturales que se requieran para dichos fines.

Para entonces, los objetivos de la nacionalización de la industria eléctrica eran consolidar, en una sola empresa, la prestación del servicio público de energía eléctrica, a efecto de satisfacer la demanda en todo el país bajo los mismos estándares de calidad y eficiencia, por lo que en diciembre de 1974, se publicó el acuerdo presidencial que autorizó la disolución y liquidación de Compañía de Luz y Fuerza del Centro S. A., Compañía de Luz y Fuerza Eléctrica de Toluca S.A., Compañía de Luz y Fuerza de Pachuca S. A., y Compañía Mexicana Meridional de Fuerza, S. A., y a la Comisión Federal de Electricidad, a adquirir de aquéllas la titularidad de sus bienes y derechos;

Por su parte, la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, publicaba en el Diario Oficial de la Federación del 22 de diciembre de 1975, estableció expresamente que la prestación del servicio público de energía eléctrica que corresponde a la Nación, estaría a cargo de la Comisión Federal de Electricidad.

Tal ordenamiento, mediante su régimen transitorio, dejó sin efectos las concesiones y también ordenó la disolución y liquidación de las concesionarias existentes, bajo la lógica de que la Comisión Federal de Electricidad asumiera los servicios prestados por tales concesionarias y estuviera en posibilidad de cumplir con su objeto legal de consolidar la prestación del servicio a nivel nacional.

Pero a pesar de lo anterior, en perjuicio de lo dispuesto por la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, la prestación de los servicios por parte de la Comisión Federal de Electricidad a nivel nacional no pudo ser consumada en virtud de diversas causas extrajurídicas y de las dificultades que implicaba terminar la liquidación de las empresas concesionarias, lo que motivó que en 1989 se reformara el artículo cuarto transitorio de la citada ley para establecer que el Ejecutivo Federal dispondría la constitución de un organismo descentralizado encargado de prestar el servicio público que venían prestando las concesionarias en disolución y liquidación, por lo que mediante decreto presidencial del 9 de febrero de 1994, se creó el organismo descentralizado Luz y Fuerza del Centro.

2.2.1.2 Creación del organismo Luz y Fuerza del Centro.

Para el 9 de febrero de 1994, considerando el decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación del 27 de diciembre de 1989, donde se reforma el artículo cuarto transitorio de la Ley del Servicio Público de Energía Federal, el presidente constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, Carlos Salinas de Gortari, quien también reformara dicho artículo, dispuso la estructura y funcionamiento de un organismo descentralizado que tendría a su cargo la prestación del servicio que venían proporcionando las empresas en liquidación Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A., compañía de luz y Fuerza de Pachuca, S.A., Compañía Mexicana Meridional de Fuerza, S.A., y Compañía de Luz y Fuerza de Toluca, S.A. y por tanto decreta la creación de Luz y Fuerza del Centro.





En tal decreto se estipula que la recién creada Luz y Fuerza del Centro adquiriría personalidad jurídica y patrimonio propio y que su principal objetivo sería el prestar servicio público de energía eléctrica que tenían a su cargo las empresas liquidadas antes mencionadas. El decreto mencionado se conformaría de once artículos y tres transitorios.

El patrimonio que Luz y Fuerza adquiriría, se integraría por bienes muebles e inmuebles, por derechos sobre recursos naturales que le ayudaran a su función, por ingresos que provinieran de la prestación del servicio y cualquier otro que obtuviera de sus bienes y también de las aportaciones que el Gobierno Federal y los gobiernos de las entidades federativas, ayuntamientos y beneficiarios del servicio público de energía eléctrica brindara, ya fuera para obras, ampliación o modificación de las mismas.

No obstante, Luz y Fuerza del Centro, no podría actuar solo y tendría que regirse por un Junta de Gobierno que sería presidida por el Secretario de Energía, Minas e industria Paraestatal, y por sendos representantes de las Secretarías d Hacienda y Crédito Público, de Desarrollo Social, de Comercio y Fomento Industrial y de Agricultura y Recursos Hidráulicos, así como también por el Director General de la Comisión Federal de Electricidad y tres representantes del sindicato titular del contrato colectivo de trabajo que rigieran las relaciones laborales en el organismo.

Y por último, la recién creada organización debía entre otras cosas, regirse por el apartado A, del artículo 123 de la Constitución y se sujetaría a la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica y a su Reglamento, y debería promover la capacitación y la preparación de todos sus trabajadores con el fin no solo de mejorar el conocimiento, sino también la productividad.

2.2.1.3 Operación de la empresa.

La capacidad instalada de LyFC representaba el 2.0% del total nacional, 85.0% correspondía a CFE y el restante 13.0% a permisionarios.

En 2006, la capacidad instalada de LyFC para generación fue de 879.33 MW, de los cuales 281.33 MW (32%) corresponde a de Hidroeléctricas y 598 MW (68.0%) a plantas termoeléctricas. Se estimó que en 2007 la capacidad instalada se incrementaría alrededor de 1,174 MW, de los cuales 886 corresponden a centrales termoeléctricas y 288 a hidroeléctricas.

Para atender la demanda de energía eléctrica en la zona central del país, LyFC adquiriría la energía de CFE en bloque, la cual en ese año representaba alrededor del 96.5 por ciento de su oferta total. Para transportar la energía eléctrica desde las Centrales Generadoras y de los puntos de recepción de energía con Comisión Federal de Electricidad hasta los centros de consumo, Luz y Fuerza del Centro cuenta con redes de transmisión y transformación en alta, media y baja tensión.

Su red de transmisión está compuesta por líneas de 400, 230, 115 y 85 KV. En 2006 su longitud era de 3,509kms, 389 en la red de transmisión y 3,120 km en la de transformación. La red de distribución cuenta con una longitud de 29,421 km, con lo que el total de la red sumó en ese año 32,930 km, que representa el 4.5% del total nacional.





Para 2007 se estimó una longitud total de la red de 33,877 km, de los cuales la red de transmisión permanecería sin cambio, es decir, en 389 km, la de transmisión se estimó que aumentaría a 3,221 y la de distribución a 30,266 km.

Debido a que la red eléctrica de Luz y Fuerza del Centro se encuentra en una zona densamente poblada, se cuenta con una red de cables subterráneos de potencia de 230 y 85 KV. Al finalizar el mes de abril del año 2006 alcanzó una longitud de 160.88kms.

2.2.1.4 Extinción de Luz y Fuerza del Centro.

El domingo 11 de octubre del año 2009 se publica, en el Diario Oficial de la Federación por parte de la Secretaría de Energía, las “Bases para el proceso de desincorporación del organismo descentralizado Luz y Fuerza del Centro”²⁹ el cual tiene por objeto establecer la forma y términos en que debe llevarse el proceso de desincorporación mediante la extinción de la compañía, así como su liquidación, la cual queda a cargo del Servicio de Administración y Enajenación de Bienes.

Ese mismo día, se publica de igual forma, en base a los términos dispuestos en el artículo 16 de la Ley Federal de las Entidades Paraestatales, por parte del Presidente Felipe de Jesús Calderón Hinojosa, el “Decreto por el que se extingue el organismo descentralizado Luz y Fuerza del Centro”³⁰, en el se sintetiza las causas que originaron la extinción de la empresa, tales como la situación financiera insostenible y la incapacidad para generar ingresos propios y reducir sus costos financieros, por lo que los subsidios anuales que recibían se cuadruplicaban, alcanzando este año los 42 mil millones de pesos; por su ineficiente operación y baja productividad; el registro de pérdidas de más del 30% de la electricidad por robos e ineficiencias que al ser comparadas con CFE triplicaba este porcentaje y por la generación de un pasivo laboral creciente e insostenible, que permitía que dos terceras partes del total fueran destinadas al personal jubilado.

El decreto también establece, al igual que las bases, que el Servicio de Administración y Enajenación de Bienes (SAE), ejercerá como el liquidador de Luz y Fuerza del Centro e intervendrá para tomar el control y disponer de todos los bienes del organismo, aplicando las medidas pertinentes para que los bienes que sean necesarios se destinen a la prestación del servicio público de energía eléctrica, conforme a lo dispuesto por la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica; que se respeten los derechos laborales de los trabajadores de Luz y Fuerza del Centro y que las indemnizaciones correspondientes se harán conforme a lo dispuesto por el Contrato Colectivo de Trabajo y la Ley Federal del Trabajo, garantizando el pago de las jubilaciones otorgadas a los trabajadores; que no implica en modo alguno la privatización del servicio eléctrico, dado que, el Estado seguirá a cargo de este servicio como lo ordena la Constitución.

Las publicaciones mencionadas, bases y decreto, se componen por nueve bases y un transitorio y por siete artículos y 3 transitorios respectivamente.

²⁹ http://www.energia.gob.mx/res/Acerca_de/BL_LFC_11102009.pdf

³⁰ http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5114004&fecha=11/10/2009





2.3 Historia de la Secretaría de Energía (SENER)³¹.

Uno de los primeros intentos por constituir la administración pública en el país se da con la publicación, el 8 de noviembre de 1821, del Reglamento Provisional para el Gobierno Interior y Exterior de las Secretarías de Estado y del Despacho Universal, mediante el cual se crearon cuatro Secretarías de Estado: Justicia y Negocios Eclesiásticos, Guerra y Marina, Hacienda, así como Relaciones Interiores y Exteriores, delegando a esta última, facultades para la atención de todas las ramas económicas.

El 22 de abril de 1853 mediante el Decreto, se establecen las Bases para la Administración de la República hasta la promulgación de la Constitución, con el cual se creó la Secretaría de Fomento, Colonización, Industria y Comercio, misma que detentó la autoridad para despachar, entre otros, los siguientes asuntos: formación de la estadística general de la industria minera y mercantil, las medidas conducentes al fomento de todos los ramos industriales y mercantiles, y las exposiciones públicas de productos de la industria minera.

En 1917 con la expedición del Decreto publicado por la Presidencia de la República, el día 31 de marzo se da origen a la Secretaría de Industria y Comercio, con atribuciones para el despacho de los asuntos relacionados con el comercio, industria en general, cámaras y asociaciones industriales y comerciales, enseñanza comercial, minería, petróleo, propiedad mercantil e industrial, estadística minera, entre otros.

El 7 de diciembre de 1946, la Ley de Secretarías y Departamentos de Estado creó la Secretaría de Bienes Nacionales e Inspección Administrativa con la finalidad de atender los asuntos relacionados con la custodia y salvaguarda de los bienes nacionales.

Debido al incremento de las actividades económicas del país y de conformidad con las reformas a la Ley de Secretarías y Departamentos de Estado del 23 de diciembre de 1958, la Secretaría de Bienes Nacionales e Inspección Administrativa se convierte en la Secretaría de Patrimonio Nacional (Sepanal), con las mismas funciones, así como con las relativas a la organización, reglamentación, control y vigilancia de las Juntas Federales de Mejoras Materiales. Así mismo, se le confieren las funciones referentes a la posesión, vigilancia, conservación y/o administración de los bienes de propiedad originaria del Estado, mismos que constituyen los recursos naturales renovables y no renovables.

Con fecha 13 de marzo de 1959 se constituye la Junta de Gobierno de los Organismos Descentralizados y Empresas de Participación Estatal, área administrativa del titular del ramo que asume las funciones de la Sepanal, en lo relativo al control, vigilancia y coordinación de organismos descentralizados y entidades paraestatales.

Posteriormente, el 25 de agosto del mismo año, se publica el Reglamento de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo, para definir con precisión todo aquello que se relaciona con la industria petrolera y delimitar el campo de acción reservado de forma exclusiva a la nación, así como aquellos

³¹ <http://www.energia.gob.mx/portal/Mobil.aspx?id=857>





campos en los que podían intervenir los particulares y los procedimientos para la obtención de los permisos y autorizaciones respectivas; estas funciones se encargaron a un organismo consultivo denominado Comisión Petroquímica Mexicana.

Con la expedición de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, en el Diario Oficial de la Federación el 29 de diciembre de 1976, se abroga la Ley de Secretarías y Departamentos de Estado. Esta nueva Ley crea la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial (Sepafin), que conserva entre otras atribuciones la posesión, vigilancia, conservación o administración de los bienes de propiedad originaria, mismos que constituyen recursos naturales no renovables.

Posteriormente y según lo dispuesto en el acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federación del 17 de enero de 1977, a la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial se le adscribieron para su coordinación las industrias que en el ramo eran parte de la Subsecretaría de Patrimonio Nacional, la cual posteriormente se transformó en la Subsecretaría de la Industria Paraestatal. En lo general la Dependencia se orientó a vigilar y dirigir la exploración, evaluación y explotación de los recursos patrimoniales del Estado.

De igual forma, mediante la participación del Titular de la Dependencia en los Órganos de Gobierno de los Institutos Mexicano del Petróleo, Nacional de Investigaciones Nucleares y de Investigaciones Eléctricas, se avocó a la coordinación y fomento de las actividades de investigación y desarrollo en materia de energía y petroquímica básica.

Con fundamento en las reformas y adiciones de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal aprobadas por el H. Congreso de la Unión el 29 de diciembre de 1982, la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial se transformó en la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (Semip), acción que formó parte del proceso de modernización administrativa emprendida por el Ejecutivo Federal, quien consideró necesario lograr un mayor grado de especialización en el área de energéticos, de la minería y de la industria básica y estratégica. La nueva Semip, transfirió a la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial las funciones relacionadas con el fomento industrial.

El día 28 de diciembre de 1994, como resultado de la reforma a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal propuesta por el Ejecutivo Federal y aprobada por el H. Congreso de la Unión, la Semip se transforma en Secretaría de Energía (Sener), y se le confiere la facultad de conducir la política energética del país, con lo que fortalece su papel como coordinadora del sector energía al ejercer los derechos de la nación sobre los recursos no renovables: petróleo y demás hidrocarburos, petroquímica básica, minerales radiactivos, aprovechamiento de los combustibles nucleares para la generación de energía nuclear, así como el manejo óptimo de los recursos materiales que se requieren para generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer la energía eléctrica que tenga por objeto la prestación del servicio público; con objeto de que estas funciones estratégicas las realice el Estado, promoviendo el desarrollo económico, en la función de administrar el patrimonio de la nación y preservar nuestra soberanía nacional.

Para dar cumplimiento a las políticas y lineamientos establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo 1995–2000, en el Programa de Desarrollo y Reestructuración del Sector de la Energía y en el Programa de Modernización de





la Administración Pública 1995–2000, en el año de 1996 se definen acciones de reestructuración y redimensionamiento de la Secretaría, que son concretadas en las reformas y adiciones al Reglamento Interior, mismo que es publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de julio de 1997.

En el año 2001, los cambios en un mundo cada vez más globalizado incidieron en el rumbo de la economía de nuestro país e hicieron necesario modernizar y fortalecer la estructura de la Dependencia, con la finalidad de que respondiera a las nuevas tendencias mundiales y a las exigencias de una sociedad mexicana cada vez más participativa y demandante de mejores servicios.

El proceso de reestructuración buscó principalmente la especialización de la Secretaría en subsectores: hidrocarburos y electricidad, sin perder de vista el importante y necesario papel de la formulación de la política energética nacional. Ello se materializó en tres subsecretarías de estado y una oficialía mayor, y sus respectivas direcciones generales, descritas en el Reglamento Interior publicado el 4 de junio del 2001.

En el año 2003 se establecen estrategias y acciones de reestructuración y redimensionamiento de la Secretaría, que son concretadas en una estructura organizacional más plana y acorde a la política de austeridad presupuestal del gobierno federal. Dicha estructura se establece en el Reglamento Interior, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 26 de enero del 2004.

2.4 Historia de Petróleos Mexicanos (PEMEX).

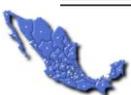
En 1901, el ingeniero mexicano Ezequiel Ordóñez descubre un yacimiento petrolero llamado *La Pez*, ubicado en el Campo de El Ébano en San Luis Potosí. En ese mismo año el Presidente Porfirio Díaz expide la Ley del Petróleo con la que se logra impulsar la actividad petrolera, otorgando amplias facilidades a los inversionistas extranjeros.

A la caída de Porfirio Díaz, en 1912, el gobierno revolucionario del Presidente Francisco I. Madero expidió, el 3 de junio de ese año, un decreto para establecer un impuesto especial del timbre sobre la producción petrolera y, posteriormente, ordenó que se efectuará un registro de las compañías que operaban en el país, las cuales controlaban el 95 por ciento del negocio.

Tres años más tarde se crea la Comisión Técnica del Petróleo por Venustiano Carranza

Para 1917 la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos determina el control directo de la Nación sobre todas las riquezas del subsuelo.

El gobierno de Carranza, un año más tarde, estableció un impuesto sobre los terrenos petroleros y los contratos para ejercer control de la industria y recuperar en algo lo enajenado por Porfirio Díaz, hecho que ocasionó la protesta y resistencia de las empresas extranjeras.





Con el auge petrolero, las compañías se adueñaron de los terrenos con petróleo. Por ello, el gobierno de Carranza dispuso que todas las compañías petroleras y las personas que se dedicaran a exploración y explotación del petróleo debieran registrarse en la Secretaría de Fomento.

En 1920, existirían en México 80 compañías petroleras productoras y 17 exportadoras, cuyo capital era integrado en un 91.5% anglo-norteamericanos.

La segunda década del siglo fue una época de febril actividad petrolera, que tuvo una trayectoria ascendente hasta llegar a una producción de crudo de poco más de 193 millones de barriles, que colocaba a México como segundo productor mundial, gracias al descubrimiento de yacimientos terrestres de lo que se llamó la "Faja de Oro", al norte del Estado de Veracruz, que se extendían hacia el Estado de Tamaulipas.

Uno de los pozos más espectaculares en los anales de la historia petrolera del mundo fue el "Cerro Azul No. 4", localizado en terrenos de las haciendas de "Toteco" y "Cerro Azul", propiedad de la "Huasteca Petroleum Company", que ha sido uno de los mantos petroleros más productivos a nivel mundial, al obtener una producción -al 31 de diciembre de 1921- de poco más de 57 millones de barriles.

Para fomentar la inversión nacional en la industria petrolera se crea, en 1934, Petróleos de México, A. C., quien sería la encargada de tal trabajo.

Y en 1935, se constituiría el Sindicato de Trabajadores Petroleros en la República Mexicana, cuyos antecedentes se remontan a 1915.

Tras una serie de eventos que deterioraron la relación entre trabajadores y empresarios, estalla una huelga en contra de las compañías petroleras extranjeras que paraliza al país en el año de 1937, la Junta de Conciliación y Arbitraje falla a favor de los trabajadores, pero las compañías se amparan ante la Suprema Corte de Justicia de la Nación.

Pero la Suprema Corte de Justicia les niega el amparo a las compañías petroleras, obligándolas a conceder demandas laborales. Éstas se niegan a cumplir con el mandato judicial y en consecuencia, el 18 de marzo de 1938, el Presidente Lázaro Cárdenas del Río decreta la expropiación a favor de la Nación, declarando la disponibilidad de México para indemnizar a las compañías petroleras el importe de sus inversiones. Posteriormente, el 7 de junio se crea Petróleos Mexicanos como organismo encargado de explotar y administrar los hidrocarburos en beneficio de la nación.

En 1942 es firmado el primer Contrato Colectivo de Trabajo entre el Sindicato de Trabajadores Petroleros de la República Mexicana.

El pago del último abono de la deuda contraída por la expropiación de 1938 era pagada anticipadamente en 1962.





La Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos es expedida en 1971. En esta década se le da además un impulso a la refinación y se experimenta un auge en la industria petrolera, producto del descubrimiento de diversos yacimientos petroleros.

En este mismo año un pescador campechano, Rudecindo Cantarell, informa a PEMEX el descubrimiento de una mancha de aceite que brotaba desde el fondo del mar en la Sonda de Campeche. Ocho años después la producción del pozo Chac marcaría el principio de la explotación de uno de los yacimientos marinos más grandes del mundo: Cantarell.

Para 1979, la perforación del pozo Maalob1 confirma el descubrimiento del segundo yacimiento más importante del país, después de Cantarell. El Activo Ku-Maalob-Zaap es el vigésimo tercero a nivel mundial, en términos de reservas, que equivalen a cuatro mil 786 millones de barriles de crudo.

En el año 1992 es expedida una nueva Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios donde se establecen los lineamientos básicos para definir las atribuciones de Petróleos Mexicanos en su carácter de órgano descentralizado de la Administración Pública Federal, responsable de la conducción de la industria petrolera nacional.

Esta Ley determina la creación de un órgano Corporativo y cuatro Organismos Subsidiarios, que es la estructura orgánica bajo la cual actualmente opera PEMEX.

Dichos Organismos son:

- PEMEX Exploración y Producción (PEP)
- PEMEX Refinación (PXR)
- PEMEX Gas y Petroquímica Básica (PGPB)
- PEMEX Petroquímica (PPQ)

Durante los meses de abril, mayo y junio del 2005, Petróleos Mexicanos produjo un promedio diario de tres millones 425 mil barriles de crudo. De estos exportó un millón 831 mil barriles a sus clientes en América, Europa y el Lejano Oriente. El resto se envió al sistema nacional de refinación.

Para el 2006, Petróleos Mexicanos se había convertido en la empresa más grande de México y una de las petroleras más grandes del mundo, tanto en términos de activos como de sus ingresos.

En ese mismo año PEMEX lanzaba al mercado nacional la gasolina Premium *Ultra Bajo Azufre*.

Petróleos Mexicanos continuaba intensificando su actividad exploratoria en diversos puntos del país y en la plataforma continental. Y en el 2007, trabajó en la reconfiguración de la refinería Lázaro Cárdenas, la más antigua del sistema nacional de refinación. Impulsando la recuperación de la industria petroquímica nacional y buscando incrementar la producción de gas, para satisfacer la demanda del mercado doméstico y así, reducir las importaciones de este energético.





El viernes 28 de noviembre de 2008 se publica en el Diario Oficial de la Federación los siete decretos que integran la Reforma Energética con esto se concluyen los trabajos encabezados por el Gobierno Federal en esta importante iniciativa para fortalecer a la empresa más importante del país.

2.5 Estructura actual del sector energético.

Bajo la coordinación de la Secretaría de Energía (SENER) en el sector energético nacional, Petróleos Mexicanos (PEMEX) y sus organismos subsidiarios, y la Comisión Federal de Electricidad son especialmente importantes, por sus aportaciones a la sociedad en términos económicos y de servicios, así como por la magnitud de sus activos y operaciones.

Adicionalmente, el sector energético se apoya en la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH). La Comisión Reguladora de Energía (CRE) participa impulsando el desarrollo eficiente de las industrias de gas natural y electricidad. Por su parte, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) promueve tanto el uso racional y eficiente de la energía como la utilización de energías renovables y finalmente, es mediante la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) que se supervisan los niveles de seguridad en las instalaciones nucleares y radioactivas en los sectores de energía, salud, industria, comercio e investigación y se vigila el cumplimiento de la regulación en la materia.

CNH (Comisión Nacional de Hidrocarburos): su principal objetivo es regular y supervisar la exploración y extracción de petróleo, así como las actividades de proceso, transporte y almacenamiento que se relacionen directamente con los proyectos de exploración y extracción de hidrocarburos.

CRE (Comisión Reguladora de Energía): Regula las industrias del gas, de los refinados, derivados de hidrocarburos y de electricidad y contribuye a salvaguardar la prestación de los servicios públicos.

CNSNS (Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias): Asegura las actividades en donde se involucren materiales nucleares, radiactivos y fuentes de radiación ionizante, que se utilizan exclusivamente con fines pacíficos y con la máxima seguridad para la población y el ambiente, considerando los desarrollos tecnológicos actuales.

CONUEE (Comisión Nacional de Uso Eficiente de Energía): Tiene por objeto promover la eficiencia energética, propiciando el uso óptimo de la energía, desde su explotación hasta su consumo; y constituirse como órgano de carácter técnico, en materia de aprovechamiento sustentable de la energía. Antes CONAE (Comisión Nacional de Ahorro de Energía) que cambio de nombre desde el 28 de noviembre de 2008.



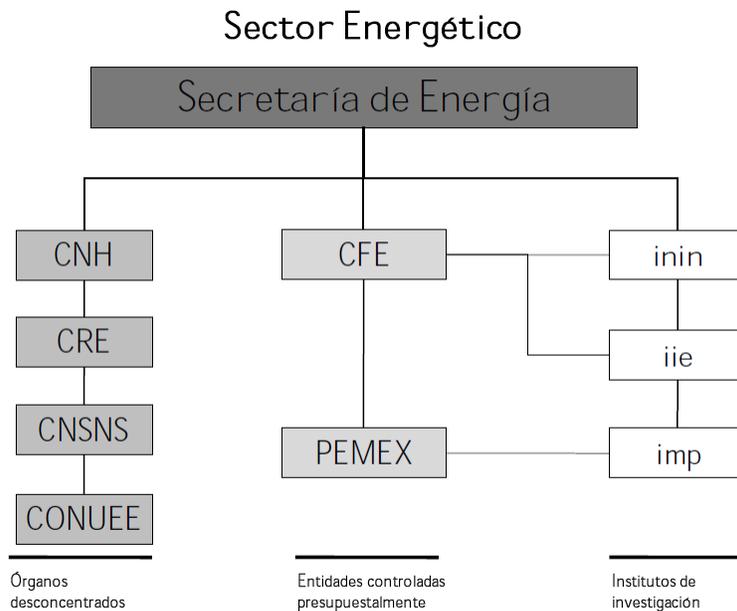


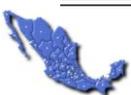
Figura 2- 1. Estructura del sector energético mexicano.

El sector energético agrupa a estas empresas en dos subsectores: hidrocarburos y electricidad. Incorpora, además, a otras entidades que son responsables, en el ámbito de su competencia, de brindar diversos productos y servicios de valor agregado. Por un lado, los institutos de investigación del sector: Mexicano del Petróleo (IMP), de Investigaciones Eléctricas (IIE) y Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), desarrollan trabajos de investigación científica, que proporcionan elementos de innovación tecnológica para que PEMEX y CFE aumenten su competitividad y ofrezcan mejores productos y servicios. Estos institutos promueven también la formación de recursos humanos especializados, con el fin de apoyar a las industrias petrolera y eléctrica nacionales.

Pero también existe la producción independiente, con la cual se genera electricidad en plantas propias con capacidades mayores a 30MW, aunque su venta se destina exclusivamente a CFE, al obtener una licitación convocada por CFE, o a la exportación.

PEMEX (Petróleos Mexicanos): organismo paraestatal encargado de la extracción y procesado de petróleo y gas, maximizando el valor económico de los hidrocarburos y sus derivados, para contribuir al desarrollo sustentable del país

IMP (Instituto Mexicano del Petróleo): es un centro público de investigación dedicado fundamentalmente a la generación de conocimientos y habilidades críticas para las industrias petrolera, petroquímica y química, que sean factibles de transformarse en realidades industriales. Ofrece y comercializa servicios y productos de calidad con alto contenido tecnológico a Petróleos Mexicanos y otros clientes, con lo que financia sus actividades, pues no recibe subsidio o aportación alguna del Gobierno Federal.





Situación de la energía eólica e hidráulica en México



CFE (Comisión Federal de Electricidad): es una empresa del gobierno mexicano que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica, producto de utilizar diferentes tecnologías y diferentes fuentes de energético primario.

ININ (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares): Instituto que realiza investigación y desarrollo en el área de la ciencia y tecnología nucleares, proporcionando servicios especializados y productos a la industria en general y a la rama médica en particular.

IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas): Apoya y promueve la investigación científica, el desarrollo experimental y la investigación tecnológica, con la finalidad de resolver los problemas científicos y tecnológicos relacionados con el mejoramiento de la industria eléctrica. Contribuye a la difusión e implantación, dentro de la industria eléctrica, de aquellas tecnologías que mejor se adapten al desarrollo económico del país.





Capítulo 3. Situación de la energía eólica e hidráulica en México





3.1 El Sistema Eléctrico Nacional.

En México existen diversas instituciones que producen diversos documentos, los cuales, proporcionan información con respecto a la situación del sector energético con una visión de 15 años. Para el propósito de la tesis se tomaran algunos de ellos.

La Prospectiva del Sector Eléctrico, creada por la Secretaría de Energía (SENER), tiene como objetivo primordial difundir la situación reciente del mercado de energía eléctrica en nuestro país, así como los proyectos necesarios para alcanzar el abasto suficiente y oportuno que brinde cobertura al crecimiento de la demanda de energía eléctrica durante los próximos años.

En México, dicha planeación se orienta hacia la seguridad energética, la diversificación de fuentes primarias y la sustentabilidad ambiental bajo un entorno de mayor rigurosidad en la normatividad, así como de la necesidad de mejorar la competitividad y eficiencia de las empresas públicas, lo cual deberá reflejarse en los precios de la energía a los consumidores finales.

En materia de seguridad energética y equilibrio ambiental en el sector eléctrico, apuntan hacia el desarrollo de energías renovables como la hidráulica, eólica, solar, biomasa, mini-hidráulica y bioenergética, entre otras, así como las posibilidades que con el desarrollo tecnológico que actualmente brinda la energía nuclear en las estrategias de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, principales precursores del calentamiento global.

El Programa de Obras e inversiones del Sector Eléctrico (POISE), creado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), es el resultado de estudios coordinados dentro del marco de la planificación integral del sistema eléctrico del país, su planificación se realiza aprovechando, tanto en el corto como en el largo plazo, las mejores opciones de inversión y producción de energía que permitan satisfacer la demanda futura de la electricidad a costo global mínimo y con un nivel adecuado de confiabilidad y calidad.

En este documento se describe la evolución del mercado eléctrico y la expansión de capacidad de generación y transmisión para atender la demanda de electricidad futura. Asimismo, se detallan las inversiones necesarias en nuevas centrales generadoras, redes de transmisión y distribución de energía, así como para el mantenimiento de la infraestructura, a fin de brindar un servicio público de electricidad seguro y eficiente.

La Estrategia Nacional de Energía, creado por la Secretaría de Energía (SENER), tiene el propósito de generar acuerdos y proponer líneas de acción correspondientes. Esta tiene como base la Visión 2024 y está conformado por 3 Ejes Rectores, que son Seguridad Energética, Eficiencia Económica y Productiva, y Sustentabilidad Ambiental. A partir de estos Ejes Rectores establece objetivos que pretenden asegurar que el sector evolucione hacia una operación segura, eficiente y sustentable, y que responda a las necesidades energéticas y de crecimiento económico y desarrollo social del país.

EL Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables, creado por la Secretaría de Energía (SENER), se enfoca en detallar las políticas públicas que promuevan fuentes renovables de energía y la utilización





óptima de las mismas con el objetivo de reducir los riesgos relacionados a la dependencia de los hidrocarburos y la seguridad de incorporar el concepto de sustentabilidad en las políticas y estrategias del sector energético.

3.2 Capacidad Nacional

En 2008 se registró un consumo nacional de energía eléctrica de 207,859 GWh, lo que representó un crecimiento de 2.1% respecto al año anterior, siendo la menor variación anual observada desde 2002, año en que el consumo creció 1.9%. (Tabla 1)

Consumo nacional de energía eléctrica, 1998-2008
GWh

Concepto	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	tmca (%) 1998-2008
Consumo nacional	146,288	155,860	166,376	169,270	172,566	176,992	183,972	191,339	197,435	203,638	207,859	3.6
variación (%)	5.2	6.5	6.7	1.7	1.9	2.6	3.9	4.0	3.2	3.1	2.1	
Ventas internas	137,209	144,996	155,349	157,204	160,203	160,384	163,509	169,757	175,371	180,469	183,913	3.0
variación (%)	5.3	5.7	7.1	1.2	1.9	0.1	1.9	3.8	3.3	2.9	1.9	
Autoabastecimiento	9,079	10,864	11,027	12,066	12,363	16,608	20,463	21,582	22,064	23,169	23,946	10.2
variación (%)	3.5	19.7	1.5	9.4	2.5	34.3	23.2	5.5	2.2	5.0	3.4	

Cuadro 3. 1. Consumo nacional de energía eléctrica, 1998-2008.³²

En 2008, la capacidad instalada nacional ascendió a 59,573 MW, de los cuales 51,105 MW corresponden al servicio público (incluyendo producción independiente) y 8,468 MW a permisionarios (autoabastecimiento, cogeneración, usos propios continuos y exportación). La capacidad nacional de energía eléctrica a diciembre de 2008 incluyendo exportación representó un incremento de 1.0%.

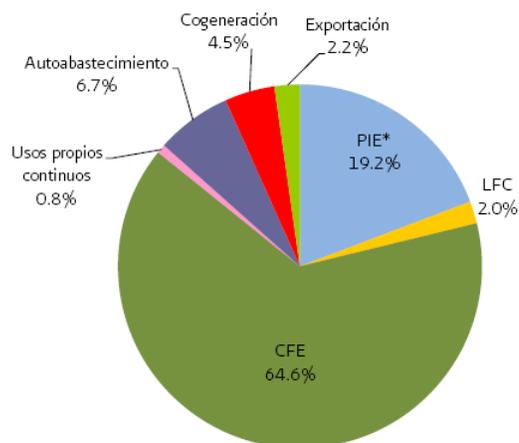
Durante el periodo 1998-2008, el consumo nacional de energía eléctrica mantuvo un crecimiento medio anual de 3.6%, como resultado de la dinámica de los sectores residencial y mediana industria principalmente. Asimismo, el autoabastecimiento ha mostrado un dinamismo de 10.2%.

³² Prospectiva del Sector eléctrico 2009-2024





Capacidad efectiva instalada nacional, 2008 59,573 MW



* Considera la capacidad efectiva neta contratada por CFE

Figura 3- 1. Capacidad efectiva instalada nacional, 2008.³³

Durante el 2008, las tecnologías basadas en el uso de gas natural, (esencialmente ciclo combinado y turbogás), alcanzaron una participación del 38.3% del total de la capacidad, mientras que las centrales que utilizan combustóleo y diesel aportaron el 25.6%. Asimismo, el carbón representó el 9.2% de la capacidad instalada y las fuentes renovables de energía (incluyendo las centrales hidroeléctricas) el 24.2%. Finalmente, la capacidad nucleoelectrica aportó el 2.7% de la capacidad total para servicio público.

Capacidad efectiva del servicio público por tipo de central, 1998-2008 (MW)

Año	Fuentes alternas					Hidrocarburos				Total	
	Hidráulica	Geotermo-eléctrica	Eolo-eléctrica	Nuclear	Carbón	Termoeléctrica convencional	Ciclo combinado*	Turbogás	Combustión interna		Dual
1998	9,700	750	2	1,309	2,600	14,282	2,463	1,929	120	2,100	35,256
1999	9,618	750	2	1,368	2,600	14,283	2,463	2,364	118	2,100	35,666
2000	9,619	855	2	1,365	2,600	14,283	3,398	2,360	116	2,100	36,697
2001	9,619	838	2	1,365	2,600	14,283	5,188	2,381	143	2,100	38,519
2002	9,608	843	2	1,365	2,600	14,283	7,343	2,890	144	2,100	41,177
2003	9,608	960	2	1,365	2,600	14,283	10,604	2,890	143	2,100	44,554
2004	10,530	960	2	1,365	2,600	13,983	12,041	2,818	153	2,100	46,552
2005	10,536	960	2	1,365	2,600	12,935	13,256	2,599	182	2,100	46,534
2006	10,566	960	2	1,365	2,600	12,895	15,590	2,509	182	2,100	48,769
2007	11,343	960	85	1,365	2,600	12,865	16,873	2,620	217	2,100	51,029
2008	11,343	965	85	1,365	2,600	12,865	16,913	2,653	216	2,100	51,105

* Incluye producción independiente de energía.

Cuadro 3. 2. Capacidad efectiva del servicio público por tipo de central, 1998-2008.³⁴

En 2008, la capacidad instalada nacional por permisionarios (PEE, Productor Externo de Energía) aumentó 2.8% respecto a 2007 (263,386 GWh). Los productores independientes representan 59.9% de dicha capacidad, quienes han generado el mayor crecimiento, seguido por el autoabastecimiento.

³³ Prospectiva del Sector eléctrico 2009-2024

³⁴ Ídem.





3.2.1 Capacidad regional

Las centrales de generación de electricidad para el servicio público se encuentran dispersas en casi todo el territorio nacional, a excepción de los estados de Aguascalientes, Morelos, Tabasco, Tlaxcala y Zacatecas, en donde a la fecha no se han instalado unidades generadoras. Las adiciones de nueva capacidad durante 2008 fueron mínimas, por lo que en el contexto regional la participación de cada entidad federativa respecto al total instalado permanecieron casi invariables. En el caso de la región Oriental y Occidental en donde se encuentran instalados los principales desarrollos hidroeléctricos del país ubicados en Chiapas y Guerrero, así como importantes centrales termoeléctricas al norte de Veracruz y la planta nucleoelectrica Laguna Verde, se concentró 34.5% del total nacional para servicio público, seguida por la región Noreste con 25.9%.

La capacidad de servicio público a diciembre de 2008 (51,105MW) representó un incremento de 0.15% respecto a 2007 (51 029MW). Esta nueva capacidad resultó de adicionar 38MW, modificar la instalada en 39.15MW y retirar 0.255MW:

- Adiciones:
 - Geotermia, Los Húmeros: 5MW (unidad 8)
 - Turbogás, Cd. del Carmen: 16MW y 17MW (unidades 2 y 3)
- Modificaciones:
 - Combustión interna (tipo diesel), Holbox: -0.57MW
 - Ciclo combinado, Gómez Palacio: +39.8MW
 - Hidráulica, Itzicuaró: -0.08MW
- Retiros:
 - Eólica, La Venta: 0.225MW (unidad 6)

En la siguiente tabla se clasifica la capacidad de tecnología en las diferentes regiones y en la gráfica se ilustra esta capacidad por área de control.





Capacidad efectiva por tecnología y área de control ^{1/} (MW) Servicio público

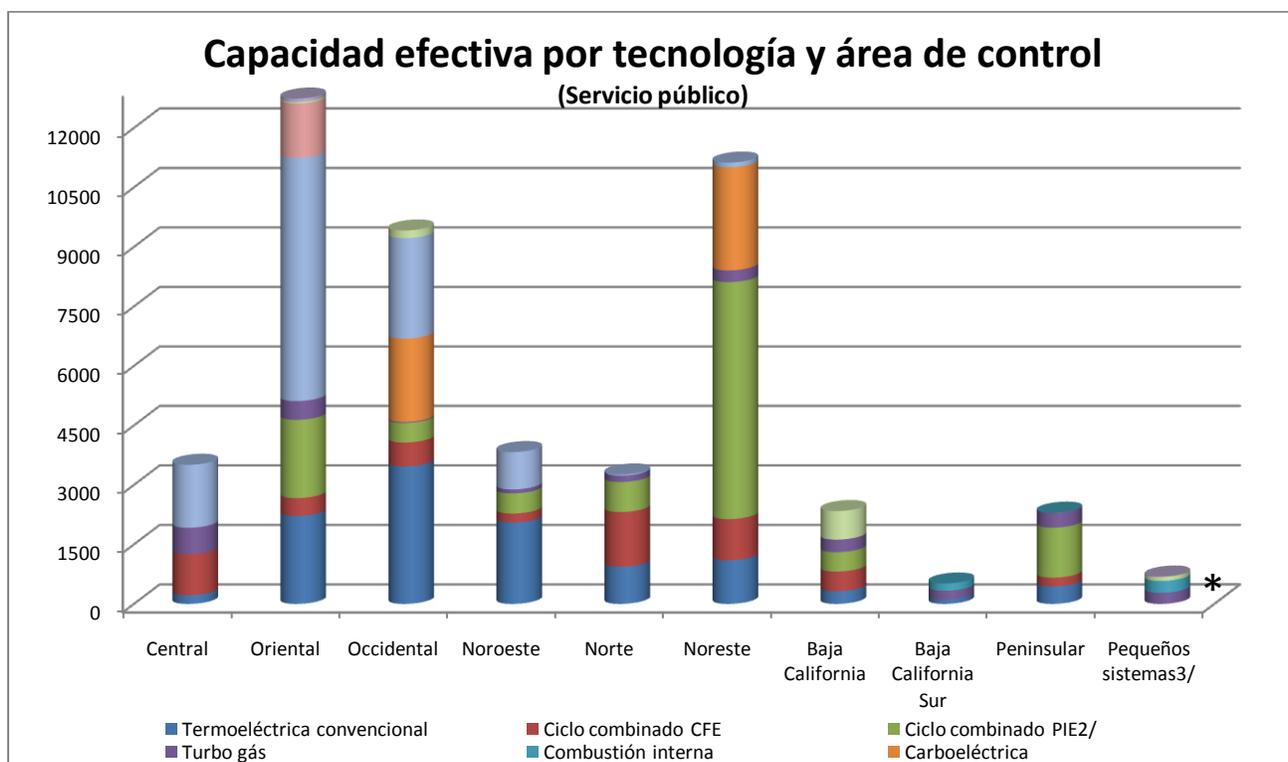
Tecnología	Central	Oriental	Occidental	Noroeste	Norte	Noreste	Baja California	Baja California Sur	Peninsular	Pequeños Sistemas ^{3/}	Total
Termoeléctrica convencionada	2,220	2,217	3,466	2,052	936	1,100	320	113	442		12,865
Ciclo combinado CFE	1,038	452	603	227	1,381	1,039	496		220		5,456
Ciclo combinado PIE ^{2/}		1,973	495	508	757	5,974	489		1,261		11,457
Turbogás	662	472	24	100	161	296	316	219	375	28	2,653
Combustión interna								183	3	30	216
Carboeléctrica			2,100			2,600					4,700
Hidroeléctrica	1,588	6,136	2,532	941	28	118					11,343
Nucleoeléctrica		1,365									1,365
Geotermoeléctrica		40	195				720			10	965
Eoloeléctrica		85								1	85
Total	5,508	12,740	9,414	3,828	3,263	11,126	2,341	514	2,302	68	51,105

1/ Al 31 de diciembre de 2008

2/ Productores Independientes de Energía

3/ Sistemas aislados que abastecen a pequeñas zonas o poblaciones alejadas de la red nacional

Cuadro 3.3. Capacidad efectiva por tecnología y área de control (MW).³⁵



*Los datos fueron multiplicados por un factor de 10 con el fin de lograr una mayor nitidez en la gráfica

Gráfica 3.1. Capacidad efectiva por tecnología y área de control.³⁶

A continuación se muestra la participación de las diferentes tecnologías para los años 2007 y 2008.

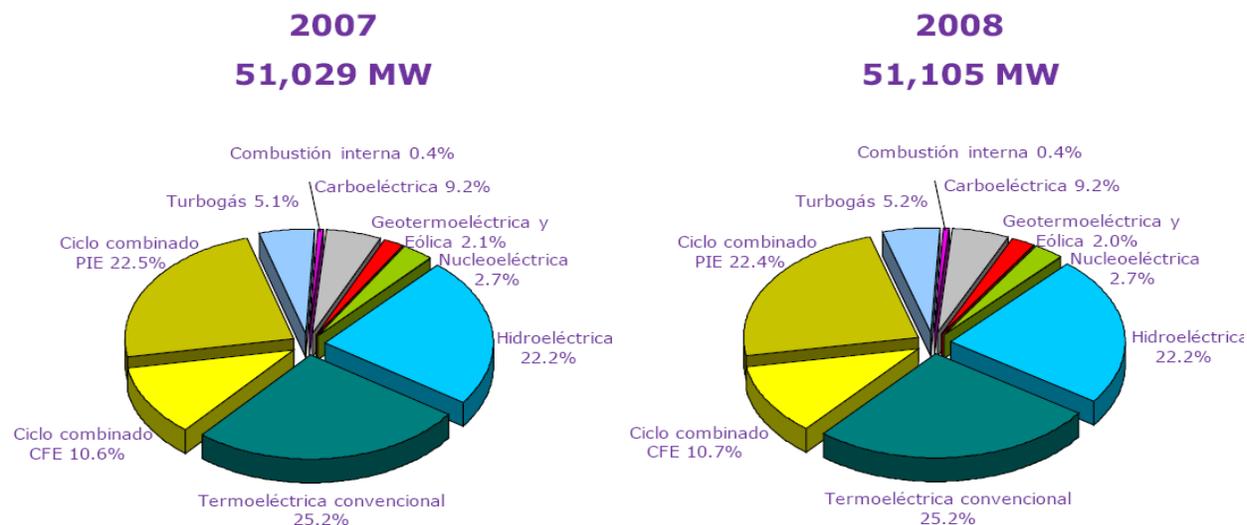
³⁵ POISE 2010-2024.

³⁶ Elaboración propia con datos del POISE 2010-2024





Capacidad efectiva al 31 de diciembre



1/ No incluye excedentes de autoabastecimiento ni cogeneración

Figura 3- 2. Capacidad efectiva al 31 de diciembre, 2007 y 2008 .³⁷

3.3. Margen de reserva.

La capacidad efectiva instalada de energía eléctrica se incrementó en un promedio anual de 3.8% entre 1998 y 2008, por encima del crecimiento observado en la demanda máxima. A finales de 2009, la capacidad efectiva de generación en el sector eléctrico alcanzó 59.8 GW.

El margen de reserva del Sistema Interconectado Nacional alcanzó 47% en 2009 (20% de margen de reserva operativo).

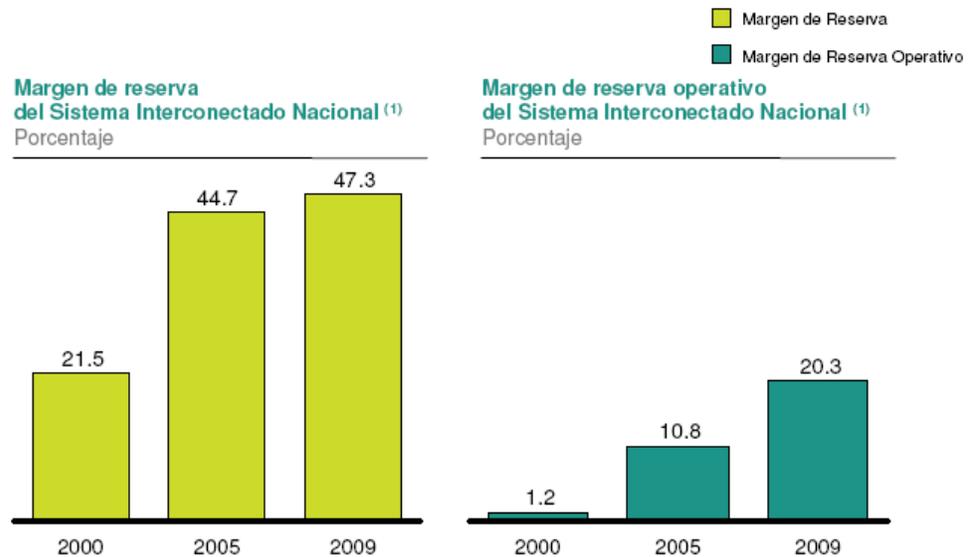
³⁷ POISE 2010-2024





MARGEN DE RESERVA DEL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL

Porcentaje



¹ Considera capacidad instalada para el servicio público y la capacidad de autoabastecimiento remoto

Figura 3- 3. Margen de reserva del Sistema Interconectado Nacional.³⁸

Por ello, las inversiones en generación y transmisión deberán tomar en cuenta:

- Margen de reserva existente
- Evolución del balance oferta/demanda regional, debido al crecimiento de la demanda, programas de gestión de la demanda y retiro programado de plantas por obsolescencia.
- Penetración de capacidad de generación de energías renovables intermitentes que requieren de respaldo e incrementan los requerimientos de capacidad de reserva.
- Opciones de desarrollo de redes de transmisión más robustas que permita aprovechar de manera eficiente el potencial de generación de cada zona, como alternativa a la construcción de nueva capacidad

³⁸ Estrategia Nacional de Energía.





3.4 Pronóstico del crecimiento nacional de energía eléctrica 2009-2024

3.4.1 Programa de expansión

El programa de expansión del SEN se integra por la planeación del servicio público y la proyección de adiciones de capacidad de permisionarios de autoabastecimiento y cogeneración. Estas adiciones de capacidad de permisionarios dentro del marco regulatorio vigente, permiten por una parte, el aprovechamiento del potencial de generación de electricidad en varios sectores, así como en diferentes ramas industriales, en los que por las características de sus procesos, existen oportunidades de ahorro de energía y mitigación de costos y, por otra parte, le permite a diferentes tipos de usuarios diversificar las fuentes de suministro de energía eléctrica.

Durante el periodo 2009-2024, el programa de expansión del servicio público requerirá adiciones de capacidad por 37,615 MW de los cuales, 5,113 MW son de capacidad comprometida o en construcción, 32,096 MW de capacidad adicional en proyectos que aún no se han licitado y 406 MW en proyectos de rehabilitación y modernización (tabla 3).

Programa de adiciones de capacidad en el SEN, 2009-2024
(MW)

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
Total ¹	1,074	1,867	1,914	1,873	2,655	457	2,414	2,137	1,768	3,591	2,186	5,024	4,413	2,078	3,956	2,295	39,702
Servicio Público	650	1,532	1,027	1,431	2,655	457	2,414	2,137	1,768	3,591	2,186	5,024	4,413	2,078	3,956	2,295	37,615
Capacidad en construcción o licitación ²	560	1,245	1,027	1,344	936												5,113
Capacidad adicional				58	1,719	457	2,414	2,137	1,768	3,591	2,186	5,024	4,413	2,078	3,956	2,295	32,096
Rehabilitaciones y modernizaciones (RM) ³	90	286		30													406
Autoabastecimiento remoto	424	335	887	442													2,087

¹ Debido al redondeo de cifras, las sumas y totales podrían no coincidir con exactitud.

² Incluye 160 MW de tecnología turbogás en el área Central.

³ Incluye los incrementos en RM de Laguna Verde, Río Bravo, Central Hidroeléctrica (CH) Villita y CH Infiernillo (406 MW)

Cuadro 3. 4. Programa de adiciones de capacidad en el SEN, 2009-2024.³⁹

Por otra parte, se estima una capacidad adicional neta de autoabastecimiento remoto y cogeneración de 2,087 MW, entre los cuales se consideran, en su mayoría proyectos eólicos del Istmo de Tehuantepec y el de Santa Catarina, Nuevo León; un proyecto hidráulico en Jalisco y el proyecto de cogeneración en Nuevo Pemex.

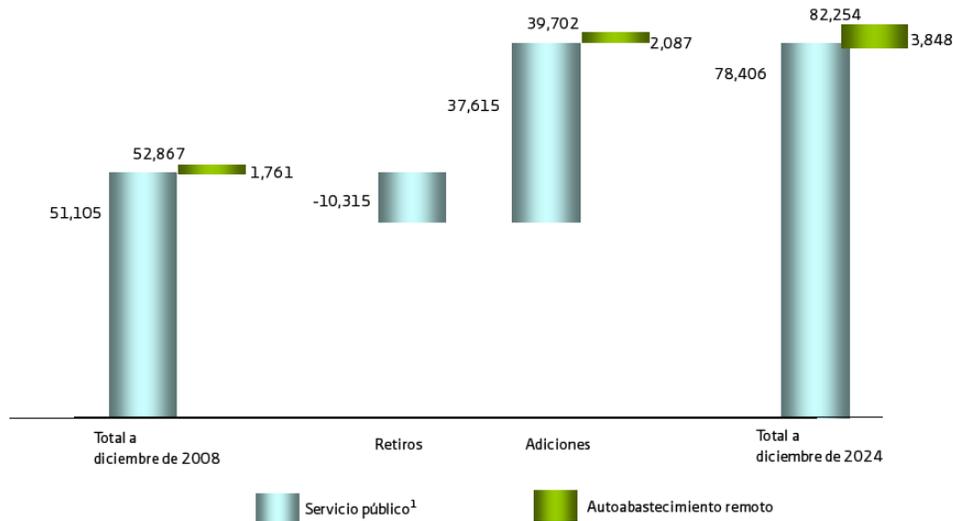
Hacia 2024 se prevé realizar retiros de capacidad obsoleta e ineficiente del servicio público de energía eléctrica por 10,315 MW.

³⁹ Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024.





Sistema Eléctrico Nacional: programa de expansión 2009-2024 (MW)



¹ Incluye rehabilitación y modernización (406 MW).

Figura 3- 4. Programa de expansión del SEN, 2009-2024.⁴⁰

Por otra parte, la capacidad comprometida o en construcción considerada en la prospectiva asciende a 5,113 MW, la cual está programada para iniciar operaciones durante el periodo 2009-2013. El programa de expansión cuyas centrales se encuentran en proceso de construcción o licitación está integrado por: 2,722 MW de tecnología de ciclo combinado, la central Carboeléctrica del Pacífico con 678 MW que iniciará operaciones en 2010, las centrales eólicas La Venta III y Oaxaca I-IV que en conjunto adicionan 507 MW, 161 MW de capacidad geotermoeléctrica correspondiente a las centrales Cerro Prieto V y Humeros Fases A y B que iniciarán operaciones entre 2011 y 2012. En tanto que en 2012 iniciará operaciones la central hidroeléctrica La Yesca con 750 MW.

⁴⁰ Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024.



Proyectos de generación en construcción o en proceso de licitación, 2009-2013

Proyecto	Ubicación	Tecnología	Fecha del concurso	Modalidad de licitación o financiamiento	Capacidad bruta (MW)				
					2009	2010	2011	2012	2013
Total anual					560	1,245	1,027	1,344	936
Acumulado					560	1,805	2,833	4,177	5,113
Proyectos terminados en 2009									
TG área central	Central	TG	2005		160				
Baja California (Pdte. Juárez)	Baja California	CC	2006	OPF	277				
Subtotal					437	0	0	0	0
Proyectos en construcción									
San Lorenzo conversión TG/CC	Puebla	CC	2005	OPF	123				
Humeros Fase A	Puebla	GEO	2008	OPF			27		
Norte (La Trinidad)	Durango	CC	2005	PIE		466			
Carboeléctrica del Pacífico	Guerrero	CAR	2003	OPF		678			
La Yesca U1 y U2	Nayarit	HID	2007	OPF				750	
Guerrero Negro III	Baja California Sur	CI	2009	OPF			11		
La Venta III	Oaxaca	EOL	2008	PIE			101.4		
Humeros fase B	Puebla	GEO	2009	OPF				27	
Oaxaca I	Oaxaca	EOL	2008	PIE		101.4			
Subtotal					123	1,245	139	777	0
Proyectos en proceso de licitación									
Baja California II TG Fase I	Baja California	TG	2009	OPF			124		
Manzanillo I rep U1	Colima	CC	2009	OPF			460		
Manzanillo I rep U2	Colima	CC	2009	OPF				460	
Cerro Prieto V	Baja California	GEO	2008	OPF				107	
Agua Prieta II ¹	Sonora	CC	2007	OPF					477
Oaxaca II, III y IV	Oaxaca	EOL	2009	PIE			304.2		
Norte II (Chihuahua)	Chihuahua	CC	2008	PIE					459
Subtotal					0	0	888	567	936

HID: Hidroeléctrica CC: Ciclo combinado CI: Combustión interna tipo diesel EOL: Eoloeléctrica CAR: Carboeléctrica GEO: Geotermoelectrica

TG: Turbogás PIE: Productor independiente de energía OPF: Obra pública financiada

Nota: Las cifras no podrían corresponder exactamente debido al redondeo.

¹ Tercera convocatoria, incluye 10 MW de campo solar.

Cuadro 3. 5. Proyectos de generación en construcción o proceso de licitación, 2009-2013.⁴¹



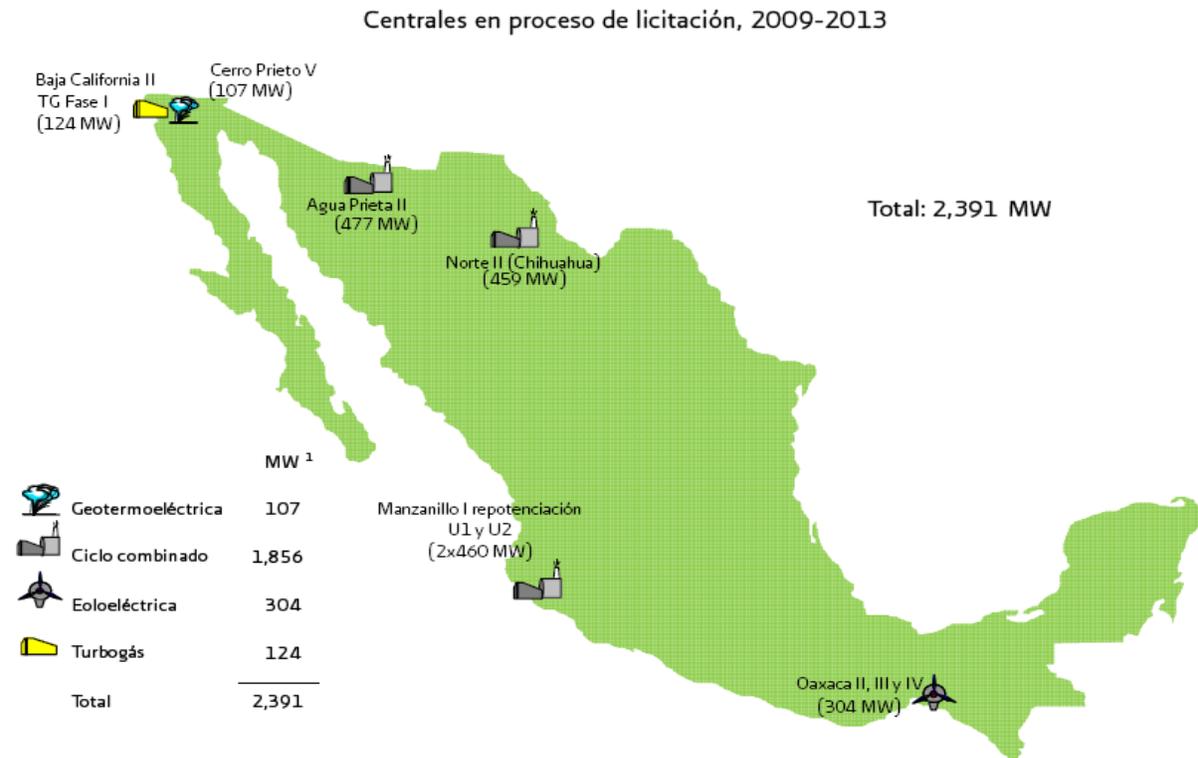
¹ Las cifras están redondeadas a números enteros, por lo que los totales podrían no coincidir exactamente.

Figura 3- 5. Mapa de centrales terminadas o en construcción, 2009-2013.⁴²

⁴¹ Ídem.

⁴² Ídem.

Respecto a la capacidad en proceso de licitación, se tienen 2,391 MW de los que destacan los proyectos eoloeléctricos Oaxaca II-IV con 304 MW, programados para iniciar operaciones en 2011; la repotenciación de las Unidades 1 y 2 de la central termoeléctrica Manzanillo I; las centrales Agua Prieta II y Norte II en 2013; así como el proyecto geotermoeléctrico Cerro Prieto V con 107 MW.



¹ Las cifras están redondeadas a números enteros, por lo que los totales podrían no coincidir exactamente.

Figura 3- 6. Mapa de centrales en proceso de licitación.⁴³

3.5 Energías Renovables.

México cuenta con un potencial de generación de electricidad con energías limpias que no ha sido explotado.

En 2008, México tuvo alrededor de 1,924.8 MW de capacidad instalada de generación eléctrica basada en energías renovables sin incluir grandes hidroeléctricas, lo cual representa el 3.3% de la capacidad instalada para el servicio público del país y autoabastecimiento remoto.

En el siguiente cuadro se muestra la capacidad total instalada, a partir de fuentes renovables, por tipo de tecnología:

⁴³ Ídem.



Capacidad y Generación Eléctrica en México por Tipo de Energía (2008)**

Tecnología	Desarrollador	CAPACIDAD		GENERACIÓN	
		Anual (MW)	% Total	Anual (GWh)	% Total
Eoloeléctrica	CFE	85.250	0.15%	231.505	0.09%
Eoloeléctrica	Permisionarios	0.000	0.00%	0.000	0.00%
Total Eoloeléctrica		85.250	0.15%	231.505	0.09%
Pequeña hidroeléctrica	CFE	270.128	0.46%	1309.525	0.53%
Pequeña hidroeléctrica	LFC	23.330	0.04%	52.988	0.02%
Pequeña hidroeléctrica*	Permisionarios	83.492	0.14%	228.053	0.09%
Total Hidroeléctrica		376.950	0.65%	1590.566	0.64%
Geotermoeléctrica	CFE	964.500	1.66%	7057.768	2.86%
Biomasa y biogás*	Permisionarios	498.116	0.86%	819.345	0.33%
Total		1924.816	3.31%	9699.184	3.93%
Total servicio público y permisionarios	58105.537	100%	246785	100.00%	
Participación Renovables			3.31%		3.93%

* Incluyen proyectos Híbridos.

**Proyectos en operación al cierre del 2008.

Cuadro 3. 6. Capacidad y generación eléctrica en México por tipo de energía (2008).⁴⁴

En 2012 la participación de la capacidad con recursos renovables se incrementará a 7.7%. Este valor resultará superior a la meta establecida en el *Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables*. Al incorporar las grandes centrales hidroeléctricas y las mayores a 30 MW, la participación aumenta a 27.7%. En el siguiente cuadro se presentan los proyectos de nuevas centrales que aprovecharán fuentes renovables. En el 2024 la participación en capacidad con fuentes renovables —de acuerdo con el Programa de Requerimiento de Capacidad (PRC) — equivaldrá a 5.5%. Parte de la capacidad definida en el PRC como tecnología libre, tendrá que desarrollarse con fuentes de energía renovable, para atender los lineamientos de política energética establecidos.

⁴⁴ Programa Especial para el Aprovechamiento de Emergias Renovables.





Programa de requerimientos de capacidad de energía renovable, 2010-2023

Fecha de entrada en Operación		Proyecto	Tipo	Capacidad		Área
Año	Mes			Bruta MW	Neta MW	
2010	Dic	Oaxaca I	EO	101	100	ORI
				101	100	
2011	Mar	Humeros Fase A	GEO	27	25	ORI
	Jun	La Venta III	EO	101	100	ORI
	Sep	Oaxaca II, III y IV	EO	304	300	ORI
				432	425	
2012	Ene	La Yesca U1	HID	375	373	OCC
	Abr	La Yesca U2	HID	375	373	OCC
	May	Humeros Fase B	GEO	27	25	ORI
	Jun	Cerro Prieto V	GEO	107	100	BC
				884	871	
2013	Abr	Sureste I	Libre	304	300	ORI
				304	300	
2014	Abr	Río Moctezuma	HID	92	91	OCC
	Abr	Sureste II	Libre	304	300	ORI
	Abr	Azufres III Fase I	GEO	50	45	OCC
				446	436	
2015	Abr	Sureste III	LIBRE	304	300	ORI
				304	300	
2016	Abr	Sureste IV	LIBRE	304	300	ORI
				304	300	
2018	Abr	Azufres III Fase II	GEO	25	23	OCC
	Sep	Tenosique	HID	420	418	ORI
				445	440	
2019	Sep	Copainalá	HID	232	231	ORI
				232	231	
2020	Abr	Azufres IV	GEO	75	68	OCC
	Sep	Paso de la Reina	HID	510	508	ORI
				585	576	
2021	Abr	La Parota U1	HID	300	299	ORI
	Abr	La Parota U2	HID	300	299	ORI
	Abr	La Parota U3	HID	300	299	ORI
				900	896	
2023	Abr	Cruces	HID	475	473	OCC
	Sep	Acala	HID	135	134	ORI
				610	607	
Total				5,548	5,481	

ORI: Oriental; OCC: Occidental; BC: Baja California.

Cuadro 3. 7. Programa de requerimiento de capacidad de energía renovable, 2010-2023.⁴⁵

3.5.1 Energía eólica

En México se han identificado diferentes zonas con potencial para la explotación eólica para la generación eléctrica, como en el Istmo de Tehuantepec, en el estado de Oaxaca, La Rumorosa en el estado de Baja California, así como en los estados de Zacatecas, Hidalgo, Veracruz, Sinaloa y en la Península de Yucatán, entre otros. La Asociación Mexicana de Energía Eólica estima que estas zonas podrían aportar hasta 10,000 MW de capacidad al parque eléctrico nacional.

El mercado eólico mundial ha demostrado que esta tecnología y la industria asociada a ella, además de aportar la energía eléctrica que la sociedad demanda, pueden convertirse en una importante fuente de empleos, inversión, desarrollo tecnológico, integración industrial y creadora de nuevas empresas e infraestructura para el país, con beneficios ambientales.

⁴⁵ Prospectiva del Sector Eléctrico, 2009-2024.





Situación de la energía eólica e hidráulica en México



El potencial eólico, aunado al marco jurídico favorable, ha permitido que al día de hoy se cuente con una cartera amplia de proyectos en operación y desarrollo como se muestra en las siguientes tablas:

Proyectos Eólicos Comprometidos					
Proyecto	Desarrollador	Región	Modalidad	MW	Fecha de entrada en operación
La Venta	CFE	Oaxaca	Servicio Público	1.35	nov-94
Guerrero Negro	CFE	Baja California Sur	Servicio Público	0.6	mar-99
La Venta II	CFE	Oaxaca	Servicio Público	83.3	ene-07
Eurus ¹	Acciona	Oaxaca	Autoabasto	250	dic-09
Parques ecológicos de México ¹	Iberdrola	Oaxaca	Autoabasto	79.9	ene-09
Fuerza Eólica del Istmo ¹	Fuerza Eólica Peñoles	Oaxaca	Autoabasto	30	2010*
Eléctrica del Valle de México ¹	EdF Energies Nouvelles-Mitsui	Oaxaca	Autoabasto	67.5	2009
Eoliatec del Istmo ¹	Eoliatec	Oaxaca	Autoabasto	22	2010*
Bii Nee Stipa Energía Eólica ¹	CISA- Gamesa	Oaxaca	Autoabasto	26.3	2009
La Venta III	CFE	Oaxaca	PIE	101.4	nov-10
Oaxaca I	CFE	Oaxaca	PIE	101.4	2010*
Centro Reginal de Tecnología Eólica ¹	Instituto de Investigaciones Eléctricas	Oaxaca	Pequeño Productor	5	ND
Desarrollo Eólicos Mexicanos	Demex	Oaxaca	Autoabasto	227.5	2011*
Eoliatec del Pacífico ¹	Eoliatec	Oaxaca	Autoabasto	160.5	2011*
Eoliatec del Istmo (2a fase) ¹	Eoliatec	Oaxaca	Autoabasto	142.2	2011*
Gamesa Energía	Gamesa	Oaxaca	Autoabasto	288	2011*
Vientos del Istmo ¹	Preneal	Oaxaca	Autoabasto	180	2011*
Energía Alterna Ismeña	Preneal	Oaxaca	Autoabasto	215.9	2011*
Unión Fenosa Generación México ¹	Unión Fenosa	Oaxaca	Autoabasto	227.5	2011*
Fuerza Eólica del Istmo (2a fase) ¹	Fuerza Eólica	Oaxaca	Autoabasto	50	2011*
Oaxaca II-IV	CFE	Oaxaca	PIE	304.2	sep-2011*

* Fecha estimada de entrada en operación

PIE: Productor independiente de Energía.

ND: no disponible

¹ Proyectos con permiso de generación eléctrica de la Comisión Reguladora de Energía.

Tabla 3. 1. Proyectos eólicos comprometidos.⁴⁶

⁴⁶ Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables.





Los proyectos actualmente instalados o en instalación en Oaxaca se basan principalmente en la modalidad de autoabastecimiento. La viabilidad de los proyectos está directamente relacionada con las tarifas oficiales de energía eléctrica, los costos de inversión y costos de porteo asociados al transporte de la energía desde el punto de interconexión hasta los puntos de carga.

Proyectos Eólicos Potenciales					
Proyecto	Desarrollador	Region	Modalidad	Mw	Fecha de entrada en operación
Fuerza Eólica de Baja California¹	Fuerza Eólica	Baja California	Exportación	300.0	ND
Mexico Wind	Unión Fenosa/Geobat	Baja California	Exportación	500.0	ND
ND	Cannon Power	Baja California	Exportación	200.0	ND
Baja Wind	Sempra Energy	Baja California	Exportación	250.0	2011
Baja California¹	Fuerza Eólica	Baja California	Autoabasto	10.0	ND
ND	Gobierno del Estado	Baja California	Autoabasto	10.0	ND
Los Vergeles	SEER	Tamaulipas	Autoabasto	160.0	2010
Eólica Santa catarina¹	Ecoenergy	Nuevo León	Autoabasto	20.0	ND

Tabla 3. 2. Proyectos eólicos potenciales.⁴⁷

La energía eólica ha tenido un importante crecimiento en los últimos años, colocándose como una de las principales fuentes renovables de generación eléctrica.

En México, a partir del año 2006, se han tenido experiencias en Baja California y Oaxaca y se ha iniciado el desarrollo de diversos parques eólicos bajo un proyecto que se denominó Temporada Abierta. A través del proyecto se acordó la construcción de infraestructura y reforzamientos de transmisión para interconectar 2,473 Megawatts de proyectos eólicos públicos y privados en Oaxaca entre 2009 y 2012.

Las inversiones estimadas de estos proyectos superan los 60 mil millones de pesos y se espera que hacia el 2012 el 4% de la energía eléctrica demandada en el país sea producida con energía eólica generando más de 10,000 empleos directos e indirectos durante la construcción y una demanda de 374 empleos para su operación.

Adicionalmente, se tienen cinco proyectos del programa eólico de la Comisión Federal de Electricidad que entrarán en operación entre 2010 y 2012. De los mismos, los proyectos La Venta III y Oaxaca I conforman el Parque Eólico del Bicentenario que están programados para entrar en operación hacia finales de 2010.

⁴⁷ Ídem.





3.5.2 Energía Minihidráulica

El panorama nacional de la minihidráulica se puede dividir en centrales públicas y privadas que se encuentran en operación y/o las que por alguna causa, están fuera de servicio. Actualmente se cuenta con 22 centrales privadas, 12 en operación, 2 inactivas y 8 en construcción, con permisos otorgados por la Comisión Reguladora de Energía con una capacidad instalada en operación de 83.5 MW, así como 31 centrales públicas en operación de la Comisión Federal de Electricidad con una capacidad de 270 MW. De estas últimas, sólo dos han sido construidas después de 1967: la central “Colina”, ubicada en San Francisco Conchos, Chihuahua, con una capacidad instalada de 3 MW y la central “Ixtaczoquitlán”, ubicada en Ixtaczoquitlán, Veracruz, con una capacidad instalada de 1 MW. Asimismo, la extinta Luz y Fuerza del Centro contaba con 11 instalaciones minihidráulicas de carácter público, que suman una capacidad de 23.4 MW.

◆ Centrales privadas

PERMISIONARIO	FECHA DE OTORGAMIENTO	CAP. AUTORIZADA (MW)	FECHA DE ENTRADA EN OPERACIÓN	ACTIVIDAD ECONÓMICA	ESTADO ACTUAL	UBICACIÓN
Generadora eléctrica san Rafael, S. de R.L. de C.V.	11 de noviembre de 1998	28.08	31/12/2009	Municipal	En construcción	Nayarit
Electricidad del istmo, S. de R.L. De C.V.	27 de agosto de 1999	20.00	31/12/2008	Textil	En construcción	Oaxaca
Compañía de energía mexicana, S.A. de C.V.	16 de enero de 2007	30.00	20/11/2008	Industrias diversas	En construcción	Puebla
Hidroeléctrica arco iris, S.A. de C.V.	23 de agosto de 2007	1.20	30/11/2010	Industrias diversas	En construcción	Jalisco
Hidroeléctrica de tacotan, S.A. de C.V.	3 de abril de 2008	6.00	30/12/2011	Pequeño productor	En construcción	Jalisco
Hidroeléctrica trigomil, S.A. de C.V.	3 de abril de 2008	8.00	30/12/2011	Pequeño productor	En construcción	Jalisco
Industrias Wack, S.A. de C.V.	26 de febrero de 2009	3.00	31/12/2009	Industrias diversas	En construcción	Jalisco
Electricidad de oriente, S. De R.L. de C.V.	12 de noviembre de 2009	18.99	01/09/2013	Industrias diversas	En construcción	Oaxaca
Comisión estatal del agua de baja california	26 de noviembre de 2009	20.00	21/09/2012	Municipal	En construcción	Baja california
Hidroatlixco, S.A. de C.V.	10 de diciembre de 2009	9.17	30/09/2012	Industrias diversas	En construcción	Guerrero
Papelera veracruzana, S.A. de C.V.	1 de marzo de 1995	1.26	25/09/1998	Papelero	En operación	Veracruz
Cervecería cuauhtemoc-moctezuma, S.A. de C.V., planta Orizaba	16 de octubre de 1998	15.00	Antes de 92	Alimentos	En operación	Veracruz
Mexicana de hidroelectricidad mexhido, S. De R.L. de C.V.	15 de enero de 1999	36.00	01/12/2006	Siderúrgico	En operación	Guerrero





Compañía industrial veracruzana, S.A.	2 de junio de 1999	4.00	Antes de 92	Textil	En operación	Veracruz
Hidroelectricidad del pacífico, S.A. de C.V.	27 de agosto de 1999	9.15	01/04/2003	Maquilador	En operación	Jalisco
Hidroeléctricas vrita, S.A. de C.V.	10 de septiembre de 1999	2.56	Antes de 92	Textil	En operación	Veracruz
Proveedora de electricidad de occidente, S.A. de C.V.	27 de enero de 2003	19.00	01/11/2005	Municipal	En operación	Jalisco
Hidroeléctrica cajón de peña, S.A. de C.V.	16 de marzo de 2006	1.20	01/09/2008	Servicios	En operación	Jalisco
Procesamiento energético mexicano, S.A. de C.V.	22 de febrero de 2007	11.30	Pruebas	Industrias diversas	En operación	Veracruz
Hidrorizaba II, S.A. de C.V.	24 de mayo de 2007	4.44	08/08/2008	Industrias diversas	En operación	Veracruz
Hidrorizaba, S.A. de C.V.	5 de julio de 2007	1.60	03/11/2008	Industrias diversas	En operación	Veracruz
Desarrollos mineros san Luis, S.A. de C.V.	17 de julio de 2008	13.98	31/07/2008	Minero	En operación	Durango
Energía ep, s. De R.L. de c. V.	5 de febrero de 2009	0.41	19/02/2009	Industrias diversas	En operación	Puebla
Energía nacional, S.A. de C.V.	28 de agosto de 2003	2.50	31/01/2006	Industrias diversas	Inactivo	Puebla
Proveedora nacional de electricidad, S.A. de C.V.	22 de octubre de 1999	5.00	12/03/03	Municipal	Inactivo	Jalisco

Tabla 3. 3. Centrales mini hidráulicas privadas.⁴⁸

💧 Centrales de CFE

En servicio

NOMBRE DE LA CENTRAL	NÚMERO DE UNIDADES	FECHA DE ENTRADA EN OPERACIÓN	CAPACIDAD EFECTIVA INSTALADA (MW)	UBICACIÓN
Portezuelos I	4	1 de enero de 1901	2.0	Atlixco, Puebla
Tirio	3	1 de enero de 1905	1.1	Morelia, Michoacán
Portezuelos II	2	1 de enero de 1908	1.1	Atlixco, Puebla
Botello	2	1 de enero de 1910	13.0	Panindícuaro, Michoacán
Colotlipa	4	1 de enero de 1910	8.0	Quechultenango, Guerrero
Puente Grande	2	1 de enero de 1912	11.8	Tonalá, Jalisco
Boquilla	4	1 de enero de 1915	25.0	San Francisco Conchos, Chihuahua
Itzicuario	2	1 de enero de 1929	0.6	Peribán los Reyes, Michoacán
Bartolinas	2	20 de noviembre de 1940	0.7	Tacámbaro, Michoacán
Jumatán	4	17 de julio de 1941	2.2	Tepic, Nayarit

⁴⁸ Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables.





Situación de la energía eólica e hidráulica en México



Zumpimito	4	1 de octubre de 1944	6.4	Uruapan, Michoacán
Micos	2	1 de mayo de 1945	0.7	Cd. Valles, San Luis Potosí
Minas	3	10 de marzo de 1951	15.0	Las Minas, Veracruz
Encanto	2	19 de octubre de 1951	10.0	Tlapacoyan, Veracruz
Texolo	2	1 de noviembre de 1951	1.6	Teocelo, Veracruz
Electroquímica	1	1 de octubre de 1952	1.4	Cd. Valles, San Luis Potosí
Schpoiná	3	7 de mayo de 1953	2.2	Venustiano Carranza, Chiapas
Platanal	2	21 de octubre de 1954	9.2	Jacona, Michoacán
Oviáchic	2	28 de agosto de 1957	19.2	Cajeme, Sonora
San Pedro Porúas	2	1 de octubre de 1958	2.6	Villa Madero, Michoacán
Mocúzari	1	3 de marzo de 1959	9.6	Álamos, Sonora
Chilapan	4	1 de septiembre de 1960	26.0	Catemaco, Veracruz
Bombaná	4	20 de marzo de 1961	5.2	Soyaló, Chiapas
Tamazulapan	2	12 de diciembre de 1962	2.5	Tamazulapan, Oaxaca
Luis M. Rojas (Intermedia)	1	1 de enero de 1963	5.3	Tonalá, Jalisco
Salvador Alvarado (Sanalona)	2	8 de mayo de 1963	14.0	Culiacán, Sinaloa
Ambrosio Figueroa (La Venta)	5	31 de mayo de 1965	30.0	La Venta, Guerrero
Camilo Arriaga (El Salto)	2	26 de julio de 1966	18.0	El Naranjo, San Luis Potosí
José Cecilio del Valle	3	26 de abril de 1967	21.0	Tapachula, Chiapas
Colina	1	1 de septiembre de 1996	3.0	San Francisco Conchos, Chihuahua
Ixtaczoquitlán	1	10 de septiembre de 2005	1.6	Ixtaczoquitlán, Veracruz

Tabla 3. 4. Centrales mini hidráulicas de CFE.⁴⁹

Sin Servicio

NOMBRE DE LA CENTRAL	NÚMERO DE UNIDADES	FECHA DE ENTRADA EN OPERACIÓN	UBICACIÓN
El Durazno (Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán)	2	01-oct-55	Valle de Bravo, México
Huazuntlán	1	01-ago-68	Zotopan, Veracruz
Ixtapantongo (Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán)	3	29-ago-44	Valle de Bravo, México
Las Rosas	1	01-ene-49	Cadereyta, Querétaro
Santa Bárbara (Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán)	3	19-oct-50	Santo Tomás de los Plátanos, México
Tepazolco	2	16-abr-53	Xochitlán, Puebla
Tingambato (Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán)	3	24-sep-57	Otzoloapan, México

Tabla 3. 5. Centrales mini hidráulicas sin servicio de CFE.⁵⁰

⁴⁹ Ídem.

⁵⁰ Ídem.





◆ Centrales de la extinta Luz y Fuerza

Nombre de la central	Número de unidades	Fecha de entrada en operación	Capacidad efectiva instalada (MW)	Ubicación
San Simón	2	1 de enero de 1903	2.540	Tenancingo, México
Zepayautla	1	1 de enero de 1905	0.664	Tenancingo, México
Juando	4	16 de enero de 1907	3.600	Tetepango, Hidalgo
Zictepec	1	1 de enero de 1908	0.384	Tenango del Valle, México
Tezcapa	1	1 de enero de 1910	5.365	Huachinango, Puebla
Fernández Leal	2	1 de octubre de 1910	1.280	Nicolás Romero, México
Alameda	3	1 de enero de 1923	8.880	Malinalco, México
Temascaltepec	1	1 de enero de 1926	2.336	Temascaltepec, México
Cañada	2	1 de enero de 1928	1.215	Tetepango, Hidalgo
Tlilan	1	1 de enero de 1928	0.680	Nicolás Romero, México
Villada	1	1 de enero de 1928	1.280	Nicolás Romero, México

Tabla 3. 6. Centrales mini hidráulicas de la extinta Luz y Fuerza.⁵¹

Por otra parte, CFE tiene en estudio una serie de proyectos hidroeléctricos de pequeña capacidad y producción continua de energía, los cuales aportarían un beneficio regional de suministro. Este tipo de proyectos son analizados para ser incorporados en los próximos años en los programas de requerimientos de capacidad.

Proyecto	Cuenca	Río	Estado	Potencia instalable (MW)	Generación media anual (GWh)
Agua Tinta	Usumacinta	Santo Domingo	Chiapas	24	206
Belisario domínguez	Usumacinta	Jataté	Chiapas	37	323
Benito Juárez	Tacotalpa	Grande	Chiapas	16	137
Campo Grande	Tacotalpa	Tulijá	Chiapas	44	384
El Amolar	Usumacinta	Jataté	Chiapas	32	276
El Meco	Tampaón	El Salto	San Luis Potosí	3	23
El Niz	Usumacinta	Tzaconeja	Chiapas	11	93
Guatenipa (A)	Culiacán	Humaya	Sinaloa	28	147
La Fortuna	Usumacinta	Santo Domingo	Chiapas	54	473
La Muralla (A)	San Pedro	Mezquital	Durango	40	210
Las Tazas	Usumacinta	Jataté	Chiapas	40	343

⁵¹ Ídem.





Pnihuán	Tampaón	Verde	San Luis Potosí	3	24
San Antonio Isidro	Usumacinta	Santo Domingo	Chiapas	20	175
Tecalco	Moctezuma	Moctezuma	Hidalgo	9	71
Tzajalchén	Tacotalpa	Grande	Chiapas	14	123
Urique (A)	Fuerte	Fuerte	Chihuahua	30	155

Tabla 3. 7. Proyectos hidráulicos de pequeña producción.⁵²

También, CFE, tiene identificados 3 proyectos factibles para la incorporación de unidades generadoras en presas existentes. Sus características técnicas son:

Proyecto	Presa	Río	Estado	Potencia instalable (MW)	Generación media anual (GWh)
Amistad	Internacional La Amistad	Bravo	Coahuila	12	48
M. Hidalgo	Miguel Hidalgo (El Fuerte)	El Fuerte	Sinaloa	11	57
J.O. de Domínguez	J.O. de Domínguez	El Álamo	Sinaloa	8	37

Tabla 3. 8. Proyectos hidráulicos de pequeña capacidad factibles.⁵³

⁵² Ídem.

⁵³ Ídem.





3.6 Estudio Comparativo. Matriz de impactos.

El siguiente estudio se realiza con el fin de obtener una visión comparativa de algunas tecnologías para contrastar los beneficios de éstas con la hidráulica y la eólica.

Para ello se utilizara el método basado en “la matriz de Leopold” para evaluar diversos impactos asociados, cada uno de esos impactos se describen a continuación:

La asignación de los valores para cada impacto está determinada en una escala basada en:

Menor impacto=1 Mayor impacto = 10

La formula a utilizar para obtener el valor promedio para la ponderación, en todos los casos, sería:

$$\left(\frac{[Valor\ real = 10] - [Valor\ real = 1]}{9} \right) = Valor\ Promedio\ (VP)$$

Las consideraciones tomadas para asignar los valores de cada uno de los rubros se mencionan a continuación:

3.5.1 Impactos económicos

Los siguientes valores tienen como referencia un tipo de cambio de 14.5 pesos por dólar y un precio de gas natural de 8.3 aproximadamente según el informe COPAR del 30/11/09.

3.5.1.1 Inversión ^A

Los valores se tomaron a partir de los valores reales de cada una de las tecnologías, quedando de la siguiente manera:

TECNOLOGÍA	Inversión USD/kW ⁵⁴	CONSIDERACIÓN
Turbogás	650	1
Ciclo combinado	973	2
Geotermoeléctrica	2169	7
Carboeléctrica	2323	7
Eoloeléctrica	2360	8
Hidroeléctrica*	2000-2500	8
Nucleoeléctrica	5000	10

La ponderación tomada es:

- Inversiones de 650 USD/kW = 1
- Inversiones de 3000 USD/kW =10

Utilizando la fórmula del valor promedio para la ponderación se obtiene: 261.

⁵⁴ Estrategia Nacional de Energía 2010.





Y con este valor se obtiene la tabla siguiente:

Ponderación	Mínima	Referencia	Máxima
1	<<	650	781
2	781	911	1042
3	1042	1172	1303
4	1303	1433	1564
5	1564	1694	1825
6	1825	1956	2086
7	2086	2217	2347
8	2347	2478	2608
9	2608	2739	2869
10	2869	3000	>>

^A Incluye construcción y administración.

*Para este caso, se tomó en cuenta el mayor valor (2500) para la asignación del valor.

3.5.1.2 Costos de operación ^B

Los valores se tomaron a partir de los valores reales de cada una de las tecnologías, quedando de la siguiente manera:

TECNOLOGÍA	Costos de operación USD/MWh ⁵⁵	CONSIDERACIÓN
Hidroeléctrica	4	1
Eoloeléctrica	13	2
Nucleoeléctrica	19	2
Carboeléctrica	41	6
Geotermoeléctrica	48	7
Ciclo combinado	58	8
Turbogás	86	10

La ponderación tomada es:

- Costos Op. de 10 USD/MWh = 1
- Costos Op. de 70 USD/ MWh =10

Utilizando la fórmula del valor promedio para la ponderación se obtiene: 6.6. Y con este valor se obtiene la tabla siguiente:

Ponderación	Mínima	Referencia	Máxima
1	<<	10	13
2	13	17	20
3	20	23	27
4	27	30	33

⁵⁵ Ídem.





5	33	37	40
6	40	43	47
7	47	50	53
8	53	57	60
9	60	63	67
10	67	70	>>

^B Incluye combustible, operación y mantenimiento.

3.5.1.3 Costos nivelados ^C

Los valores se tomaron a partir de los valores reales de cada una de las tecnologías, quedando de la siguiente manera:

TECNOLOGÍA	Costos nivelados USD/MWh ⁵⁶	CONSIDERACIÓN
Ciclo combinado	74	1
Carboeléctrica	80	2
Geotermoeléctrica	82	2
Nucleoeléctrica	84	3
Eoloeléctrica	110	7
Hidroeléctrica	116	8
Turbogás	152	10

La ponderación tomada es:

- Costos Niv. de 75 USD/ MWh = 1
- Costos Niv. de 130 USD/ MWh =10

Utilizando la fórmula del valor promedio para la ponderación se obtiene: 6.1.

Y con este valor se obtiene la tabla siguiente:

Ponderación	Mínima	Referencia	Máxima
1	<<	75	78
2	78	81	84
3	84	87	90
4	90	93	96
5	96	99	103
6	103	106	109
7	109	112	115
8	115	118	121
9	121	124	127
10	127	130	>>

^C Incluye costos de inversión y operación.

⁵⁶ Ídem.





3.5.1.4 Matriz resultante.

La matriz resultante de impactos económicos quedaría de la siguiente manera:

		Económicos			TOTAL
		Inversión	Costos de operación	Costos nivelados	
Tecnologías	Hidroeléctrica	8	1	8	<u>17</u>
	Eoloeléctrica	8	2	7	<u>17</u>
	Turbogás (diesel)	1	10	10	<u>21</u>
	Turbogás (gas natural)	1	10	10	<u>21</u>
	Ciclo combinado (gas natural)	2	8	1	<u>11</u>
	Geotermoeléctrica	7	7	2	<u>16</u>
	Carboeléctrica	7	6	2	<u>15</u>
	Nucleoeléctrica	10	2	3	<u>15</u>

Tabla 3. 9. Matriz resultante de impactos económicos.

3.5.2 Impactos Ambientales

Los datos considerados para las tecnologías de ciclo combinado, carboeléctrica y turbogás fueron tomados del reporte de “Emisiones Atmosféricas de las Centrales Eléctricas de América del Norte” (2004)⁵⁷. Los valores considerados para el estudio son el promedio de los valores de las plantas de cada caso.

Para referencia de las emisiones de las centrales restantes se tomo en cuenta el documento: “Comparing Greenhouse-Gas Emissions and Abatement Costs of Nuclear and Alternative Energy Options from a Life-Cycle Perspective (1997)” del Instituto Öko⁵⁸

3.5.2.1 Emisiones de CO₂

Los valores aproximados de cada una de las tecnologías, quedan de la siguiente manera:

TECNOLOGÍA	Emisiones de CO ₂ kg/MWh	CONSIDERACIÓN
Hidroeléctrica	0	1
Eoloeléctrica	0.35	1
Geotermoeléctrica	30	1
Nucleoeléctrica	45	1
Ciclo combinado (gas natural)	446	5
Carboeléctrica	726	7
Turbogás (gas natural)	827	8
Turbogás (diesel)	1319	10

⁵⁷ http://www.cec.org/Storage/56/4878_PowerPlant_AirEmission_es.pdf

⁵⁸ http://www.oeko.de/service/gemis/files/info/nuke_co2_en.pdf





La ponderación tomada es:

- Emisiones de CO₂ < 20 kg/MWh = 1
- Emisiones de CO₂ > 1000 kg/MWh =10

Utilizando la fórmula del valor promedio para la ponderación se obtiene: 54.4.

Y con este valor se obtiene la tabla siguiente:

Ponderación	Mínima	Referencia	Máxima
1		20.00	74.44
2	74.44	128.89	183.33
3	183.33	237.78	292.22
4	292.22	346.67	401.11
5	401.11	455.56	510.00
6	510.00	564.44	618.89
7	618.89	673.33	727.78
8	727.78	782.22	836.67
9	836.67	891.11	945.56
10	945.56	1000.00	1054.44

3.5.2.2 Emisiones de NO_x

Los valores aproximados de cada una de las tecnologías, quedan de la siguiente manera:

TECNOLOGÍA	Emisiones de NO _x kg/MWh	CONSIDERACIÓN
Geotermoeléctrica	0	1
Nucleoeléctrica	0	1
Eoloeléctrica	0	1
Hidroeléctrica	0	1
Ciclo combinado (gas natural)	1.27	1
Turbogás (gas natural)	2.41	3
Carboeléctrica	4.33	6
Turbogás (diesel)	7.39	10

La ponderación tomada es:

- Emisiones de NO_x < 1 kg/MWh = 1
- Emisiones de NO_x > 7 kg/MWh =10

Utilizando la fórmula del valor promedio para la ponderación se obtiene: 0.66.

Y con este valor se obtiene la tabla siguiente:





Ponderación	Mínima	Referencia	Máxima
1	<<	1.00	1.33
2	1.33	1.67	2.00
3	2.00	2.33	2.67
4	2.67	3.00	3.33
5	3.33	3.67	4.00
6	4.00	4.33	4.67
7	4.67	5.00	5.33
8	5.33	5.67	6.00
9	6.00	6.33	6.67
10	6.67	7.00	>>

3.5.2.3 Emisiones de SO₂

Los valores aproximados de cada una de las tecnologías, quedan de la siguiente manera:

TECNOLOGÍA	Emisiones de SO ₂ kg/MWh	CONSIDERACIÓN
Nucleoeléctrica	0	1
Eoloeléctrica	0	1
Hidroeléctrica	0	1
Geotermoeléctrica	≅ 0	1
Ciclo combinado (gas natural)	0.13	1
Turbogás (gas natural)	1.53	2
Turbogás (diesel)	4.19	5
Carboeléctrica	13.87	10

La ponderación tomada es:

- Emisiones de SO₂ < 1 kg/MWh = 1
- Emisiones de SO₂ > 11 kg/MWh =10

Utilizando la fórmula del valor promedio para la ponderación se obtiene: 1.11.

Y con este valor se obtiene la tabla siguiente:

Ponderación	Mínima	Referencia	Máxima
1	<<	0.01	0.57
2	0.57	1.12	1.68
3	1.68	2.23	2.79
4	2.79	3.34	3.90
5	3.9	4.45	5.01
6	5.01	5.57	6.12
7	6.12	6.68	7.23
8	7.23	7.79	8.34
9	8.34	8.90	9.45
10	9.45	10.01	>>





3.5.2.4 Uso de agua

Las consideraciones tomadas para este rubro fueron valoradas respecto a la síntesis del “Libro de Consulta para Evaluación Ambiental. Volumen III”⁵⁹ disponible en Internet. En el cual se tomara en cuenta las propiedades del agua a la salida del proceso.

3.5.2.5 Biodiversidad

Las consideraciones tomadas para este rubro fueron valoradas respecto a diversos documentos encontrados en la WEB con respecto al daño en la biodiversidad de los diferentes tipos de centrales.

3.5.2.6 Matriz resultante.

La matriz resultante de impactos ambientales quedaría de la siguiente manera:

		Ambientales					TOTAL
		CO ₂	NO _x	SO ₂	Uso de agua	Biodiversidad	
Tecnologías	Hidroeléctrica	1	1	1	4	4	11
	Eoloeléctrica	1	1	1	1	1	5
	Turbogás (diesel)	10	10	5	8	10	43
	Turbogás (gas natural)	8	3	2	8	9	30
	Ciclo combinado (gas natural)	5	1	1	5	8	20
	Geotermoeléctrica	1	1	1	4	5	12
	Carboeléctrica	7	6	10	10	10	43
	Nucleoeléctrica	1	1	1	4	3	10

Tabla 3. 10. Matriz resultante de impactos ambientales.

3.5.3 Impactos Sociales

3.5.3.1 Numero de empleos

Los valores utilizados provienen del informe del Director General de ICA, Dr. José Luis Guerrero. (Empleos generados durante la construcción).

TECNOLOGÍA	Empleos/MW ⁶⁰	CONSIDERACIÓN
Hidroeléctrica	6	1
Geotermoeléctrica	5	3
Eoloeléctrica	3	8
Nucleoeléctrica	3	8
Ciclo combinado	2	10
Carboeléctrica	2	10
Turbogás	2	10

⁵⁹ http://es.wikibooks.org/wiki/Impactos_ambientales#Parte_III_-_Impactos_ambientales_potenciales_de_actividades_agr.C3.ADcolas_y_forestales

⁶⁰ <http://www.elheraldociudadano.com.mx/wp-admin/Revista/CH-2.pdf>





La ponderación tomada es:

- Empleos/MW > 6 = 1
- Empleos/MW < 2 = 10

Utilizando la fórmula del valor promedio para la ponderación se obtiene: 0.44.

Y con este valor se obtiene la tabla siguiente:

Ponderación	Mínima	Referencia	Máxima
1	5.74	5.96	>>
2	5.32	5.52	5.74
3	4.86	5.08	5.32
4	4.42	4.64	4.86
5	3.98	4.2	4.42
6	3.54	3.76	3.98
7	3.1	3.32	3.54
8	2.66	2.88	3.1
9	2.22	2,44	2.66
10	<<	2	2.22

3.5.3.2 Problemas locales

Las consideraciones tomadas para este rubro fueron valoradas respecto a la síntesis del “Libro de Consulta para Evaluación Ambiental. Volumen III”⁶¹ disponible en internet.

3.5.3.3 Matriz resultante.

La matriz resultante de impactos sociales quedaría de la siguiente manera:

		Sociales		TOTAL
		Número de empleos	Problemas locales	
Tecnologías	Hidroeléctrica	1	5	<u>6</u>
	Eoloeléctrica	8	3	<u>11</u>
	Turbogás (diesel)	10	6	<u>16</u>
	Turbogás (gas natural)	10	6	<u>16</u>
	Ciclo combinado (gas natural)	10	5	<u>15</u>
	Geotermoeléctrica	3	2	<u>5</u>
	Carboeléctrica	10	5	<u>15</u>
	Nucleoeléctrica	8	8	<u>16</u>

Tabla 3. 11. Matriz resultante de impactos sociales.

⁶¹ Ídem.





3.5.4 Impactos Técnicos

3.5.4.1 Eficiencia

Los valores tomados para cada tipo de tecnología son un promedio estimado. Quedando de la siguiente manera:

TECNOLOGÍA	Eficiencia (η)	CONSIDERACIÓN
Hidroeléctrica	90	1
Ciclo combinado	50	4
Carboeléctrica	40	8
Eoloeléctrica	40⁶²	8
Turbogás	35	10
Nucleoeléctrica	35	10
Geotermoeléctrica	35	10

La ponderación tomada es:

- η de 60 = 1
- η de 35 = 10

Utilizando la fórmula del valor promedio para la ponderación se obtiene: 3.

Y con este valor se obtiene la tabla siguiente:

Ponderación	Mínima	Referencia	Máxima
1	59	60	>>
2	56	57	59
3	53	54	56
4	50	52	53
5	48	49	50
6	45	46	48
7	42	43	45
8	39	41	42
9	36	38	39
10	<<	35	36

3.5.4.2 Tiempo de construcción promedio

Los valores se tomaron a partir de los valores reales de cada una de las tecnologías, quedando de la siguiente manera:

⁶² ÁNGELES, Camacho Cesar. "Energía eólica". En: Diplomado en Eficiencia Energética, Energías Limpias y Desarrollo Sustentable. (27°,2010: México D.F)





TECNOLOGÍA	Tiempo de construcción (años) ⁶³	CONSIDERACIÓN
Eoloeléctrica	1	1
Turbogás	1	1
Geotermoeléctrica	2.25	3
Ciclo combinado	2.5	3
Carboeléctrica	3.5	4
Hidroeléctrica*	4-6	7
Nucleoeléctrica	8	10

La ponderación tomada es:

- Tiempo de construcción de 1 año = 1
- Tiempo de construcción de 8 años =10

Utilizando la fórmula del valor promedio para la ponderación se obtiene: 0.78.

Y con este valor se obtiene la tabla siguiente:

Ponderación	Mínima	Referencia	Máxima
1		1	1.39
2	1.39	1.78	2.17
3	2.17	2.56	2.94
4	2.94	3.33	3.72
5	3.72	4.11	4.50
6	4.50	4.89	5.28
7	5.28	5.67	6.06
8	6.06	6.44	6.83
9	6.83	7.22	7.61
10	7.61	8.00	

*Para este caso, se tomó en cuenta el mayor valor (6) para la asignación del valor.

3.5.4.3 Disponibilidad

Los valores tomados para cada tipo de tecnología son un promedio estimado. Quedando de la siguiente manera:

⁶³ Estrategia Nacional de Energía 2010.





TECNOLOGÍA	Disponibilidad	CONSIDERACIÓN
Nucleoeléctrica	0.85	1
Ciclo combinado	0.8	2
Carboeléctrica	0.8	2
Hidroeléctrica	0.8	2
Turbogás	0.8	2
Geotermoeléctrica	0.78	3
Eoloeléctrica	0.30	10

La ponderación tomada es:

- Disponibilidad de > 0.85 = 1
- Disponibilidad de < 0.50 = 10

Utilizando la fórmula del valor promedio para la ponderación se obtiene: 0.038.

Y con este valor se obtiene la tabla siguiente:

Ponderación	Mínima	Referencia	Máxima
1	0.823	0.842	>>
2	0.785	0.804	0.823
3	0.747	0.766	0.785
4	0.709	0.728	0.747
5	0.671	0.69	0.709
6	0.633	0.652	0.671
7	0.595	0.614	0.633
8	0.557	0.576	0.595
9	0.519	0.538	0.557
10	<<	0.5	0.519

3.5.4.5 Uso mínimo de terreno

Los valores tomados para cada tipo de tecnología son datos recabados de 3 tipos de fuentes en la WEB:

TECNOLOGÍA	Ocupación de terreno* ha/MW	CONSIDERACIÓN
Nucleoeléctrica	0.05 - 0.3	1
Geotermoeléctrica	0.1 – 0.3	1
Ciclo combinado	0.3 -0.8	2
Turbogás	0.3 -0.8	2
Carboeléctrica	0.8 – 8.0	8
Hidroeléctrica	2.4 – 1000	10
Eoloeléctrica	8.7	9





La ponderación tomada es:

- $ha/MW > 0.1 = 1$
- $ha/MW < 10 = 10$

Utilizando la fórmula del valor promedio para la ponderación se obtiene: 1.1.

Y con este valor se obtiene la tabla siguiente:

Ponderación	Mínima	Referencia	Máxima
1	<<	0.1	0.65
2	0.65	1.2	1.75
3	1.75	2.3	2.85
4	2.85	3.4	3.95
5	3.95	4.5	5.05
6	5.05	5.6	6.15
7	6.15	6.7	7.25
8	7.25	7.8	8.35
9	8.35	8.9	9.45
10	9.45	10	>>

*Para este rubro, se tomó en cuenta el mayor valor para la asignación del valor.

3.5.4.6 Matriz resultante.

La matriz resultante de impactos técnicos quedaría de la siguiente manera:

		Técnicos				TOTAL
		Eficiencia	Tiempo de construcción promedio	Disponibilidad	Uso mínimo de terreno	
Tecnologías	Hidroeléctrica	1	7	2	10	20
	Eoloeléctrica	8	1	10	9	28
	Turbogás (diesel)	10	1	2	2	15
	Turbogás (gas natural)	10	1	2	2	15
	Ciclo combinado (gas natural)	4	3	2	2	11
	Geotermoeléctrica	10	3	3	1	17
	Carboeléctrica	7	4	2	8	21
	Nucleoeléctrica	10	10	1	1	22

Tabla 3.

12. Matriz resultante de impactos técnicos.



3.5.5 Matriz de impactos resultante.

	I M P A C T O S														
	Económicos			Ambientales				Sociales		Técnicos			TOTAL		
	Inversión	Costos de operación	Costos nivelados	CO ₂	NOx	SO ₂	Uso de agua	Biodiversidad	Número de trabajos	Problemas locales	Eficiencia	Tiempo de construcción promedio		Disponibilidad	Uso mínimo de terreno
Hidroeléctrica	8	1	8	1	1	1	4	4	1	5	1	7	2	10	54
Eoloelectrica	8	2	7	1	1	1	1	1	8	3	8	1	10	9	61
Turbogás (diesel)	1	10	10	10	10	5	8	10	10	6	10	1	2	2	95
Turbogás (gas natural)	1	10	10	8	3	2	8	9	10	6	10	1	2	2	82
Ciclo combinado (gas natural)	2	8	1	5	1	1	5	8	10	5	4	3	2	2	57
Geotermoelectrica	7	7	2	1	1	1	4	5	3	2	10	3	3	1	50
Carboelectrica	7	6	2	7	6	10	10	10	10	5	7	4	2	8	94
Nucleoelectrica	10	2	3	1	1	1	4	3	8	8	10	10	1	1	63

Tabla 3. 13. Matriz resultante final.



3.5.6 Análisis de datos y resultados.

El resultado por cada tecnología quedaría de la siguiente manera, tomando de menor a mayor:

Tecnología	Suma
Geotermoeléctrica	<u>50</u>
Hidroeléctrica	<u>54</u>
Ciclo combinado (gas natural)	<u>57</u>
Eoloeléctrica	<u>61</u>
Nucleoeléctrica	<u>63</u>
Turbogás (gas natural)	<u>82</u>
Carboeléctrica	<u>94</u>
Turbogás (diesel)	<u>95</u>

Tabla 3. 14. Suma total de ponderaciones por tecnología.

Conforme a los resultados del estudio comparativo tenemos que:

La energía geotérmica es la que tiene mejores ventajas, debido a sus impactos ambientales reducidos y a sus valores dentro de los demás impactos aceptables. Pero, aunque México ha establecido la existencia de un número considerable de manifestaciones termales, solo una minoría de ellas funciona para generación eléctrica. A pesar de ello es posible que este tipo de generación pueda satisfacer ciertas necesidades energéticas⁶⁴.

La energía hidráulica se presenta como una segunda opción debido a que, en la parte ambiental, sus emisiones de gases de efecto invernadero son escasas; en la parte social genera un número considerable de empleos durante su construcción; en la parte económica que sus costos de operación son bastante bajos; y que en la parte técnica tiene una alta eficiencia.

En el caso de la tecnología de ciclo combinado se observa que su resultado es favorable debido a valores técnicos menores y costos bajos, a pesar de ello, la energía de ciclo combinado necesita de gas natural el cual debe ser importado y por tanto, afecta los costos de operación de la planta al depender del precio del gas.

Y después tenemos a la energía eólica que a pesar de que esta es la energía que presenta bastantes ventajas sobre las demás tecnologías debido al mínimo impacto ambiental y a que en la parte económica sus costos de operación son bajos; al observar sus valores en la parte técnica, eficiencia y disponibilidad, estos son bastante bajos y el terreno a ocupar es demasiado extenso.

Con estos resultados podemos darnos cuenta que el uso de las energías eólica e hidráulica son bastante favorables para la mitigación de impactos, también nos muestra cuáles son las partes donde se pudiera disminuir el impacto y con esto promover en mayor escala ambas tecnologías y en cada caso, realizar ciertas mejoras, en su implementación o tecnología.

La energía hidráulica a pequeña escala no fue comparada dentro de esta matriz de impactos debido a que sus impactos son menores en comparación de estas tecnologías. En este caso su uso impacta en mucha menor proporción en casi todos los aspectos.

⁶⁴ http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/058/htm/sec_8.htm





Capítulo 4. Alternativas y propuesta





4.1 Alternativas.

Como se comentó en el capítulo anterior las alternativas que presentan las instancias encargadas en la generación de electricidad son diversas y en sus programas incluyen la inserción de diferentes tipos de energías renovables.

De acuerdo al POISE la capacidad adicional requerida para los próximos 15 años se obtendrá combinando de diversas maneras las tecnologías disponibles, esta mezcla, es la que permitirá satisfacer la demanda prevista a costo global mínimo, con el nivel de confiabilidad establecido por CFE y cumpliendo con los lineamientos de política energética nacional y de normatividad ambiental.

A pesar de que en esta previsión se toman en cuenta los lineamientos de política energética, la tecnología de ciclo combinado, según el POISE, mantendrá una participación importante por ser una atractiva opción por su alta eficiencia y de limpieza en el proceso de conversión de energía y porque permitirá reducir niveles de contaminación, ofreciendo flexibilidad para utilizar otro tipo de energéticos por la integración de estaciones gasificadoras⁶⁵.

Con esta afirmación el POISE genera una contradicción ya que en este mismo documento menciona que “*Con base en los lineamientos de política energética formulados por la SENER, para las fuentes de generación, se ha limitado la dependencia del gas natural en el sector eléctrico*”⁶⁶, pero según sus mismas palabras el ciclo combinado mantendría una participación importante.

Algo que es importante señalar que el gas natural utilizado actualmente en estas centrales es mayoritariamente importado lo cual genera un riesgo energético para el país, pues este tipo de centrales depende de una fuente que no se tiene.

Aunque se presenta, a las energías renovables como una alternativa factible, el desarrollo de las mismas sigue siendo limitado, según datos de la Prospectiva en sus requerimientos de capacidad adicional de 2011 al 2024, el 1.14% le corresponde a proyectos eólicos y el 9.93% a proyectos hidráulicos (no incluye mini hidráulico) en contra de 46.11% de proyectos a base de combustibles fósiles (ciclo combinado, combustión interna, turbogas y carbón), es importante mencionar que se manejan proyectos de capacidad de tecnología libre a la cual le corresponde el 41.94% del total de 35,403 MW en este período, pero únicamente 4 de los 21 proyectos probables de tecnología libre está destinada, según datos del POISE, a tecnología a base de renovables.

Otro punto importante de mencionar es que la Prospectiva también nos presenta una cartera de proyectos de diversas tecnologías las cuales son considerados en la expansión del SEN, las cuales pueden presentarse en diversas etapas de estudio (prefactibilidad, factibilidad, gran visión, remodelación o diseño), en este documento podemos observar que se tienen 52 proyectos hidroeléctricos con estudios (se incluyen 13 proyectos mini hidráulicos <30 MW) de los cuales solo 11 están catalogados como factibles, y un proyecto eólico en estudio de prefactibilidad dentro del catálogo.

⁶⁵ Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE) 2010-2024. Pag.3-26

⁶⁶ Ibidem.





Como se puede observar, es posible que en la expansión del SEN, los proyectos hidráulicos puedan tener una mayor oportunidad dentro de los proyectos de tecnología libre, sin embargo, sólo existe un proyecto eólico y aunque pudiera ser tomado en cuenta dentro de éstos, al no existir más la probabilidad de que participen ampliamente es mínima.

Según datos del POISE, CFE analiza 16 proyectos hidráulicos de pequeña escala que pueden ser incorporados y que afirma pueden resultar competitivos en comparación de las tecnologías convencionales, lo cual es un avance significativo en el desarrollo de esta tecnología y es aquí donde se pueden observar los esfuerzos que se han realizado para determinar el potencial mini hidráulico del país, aunque actualmente sólo exista el 20% del potencial estimado instalado.

Tomando en cuenta todo lo anterior, se puede concluir que aunque los propósitos de desarrollar las energías renovables son buenas, puesto que se busca el desarrollo de las mismas, en la realidad, las alternativas de generación que se muestran, tanto en este documento como en el POISE, no son totalmente amigables con el ambiente, que la orientación hacia las fuentes renovables que se dice buscar aun es escasa y que el propósito de la no dependencia a los combustibles fósiles, en especial el gas natural, se queda únicamente en propósitos a muy largo plazo, lo cual no podemos permitirnos dada la situación en la que se encuentra el cambio climático.

Algo relevante dentro de este tema es el margen de reserva, el cual juega un papel muy importante dentro de la planeación de los proyectos, éste se encuentra, según cifras del POISE, en el 45.5% del cual sólo el 25.3% es el margen de reserva operativo al 2010. Tomando en cuenta estos datos, se puede concluir que el margen de reserva del país es extremadamente alto comparándolo con el margen de reserva mundial que es de aproximadamente un 20%, pero en este mismo documento se justifica que un margen así de alto nos beneficia porque proporciona alta seguridad de abasto eléctrico. Pero en el cual podemos discernir ya que si existe un margen del 100% arriba del promedio mundial no sería necesario el construir nuevas plantas por algún tiempo y por consiguiente la construcción de centrales a base de energías renovables puede llevarse a cabo si ningún problema, no obstante la realidad es que la mayoría serán a base de combustibles fósiles.

Por otra parte, dentro del Programa Especial de Aprovechamiento de Energías Renovables basado en la Ley del mismo nombre nos muestra diversos programas de apoyo con base en energías renovables como son:⁶⁷

1. Proyecto de Servicios Integrales de Energía. Tiene como propósito dotar de electricidad a un aproximado de 2,500 comunidades rurales que no cuentan con servicios de energía eléctrica y que por su alto grado de dispersión y el escaso número de viviendas por comunidad, difícilmente serán integradas a la red eléctrica nacional. Pretende utilizar las tecnologías renovables que se adecuen mejor a las condiciones geográficas de la zona. También contempla el apoyo concurrente a actividades productivas asociadas a la electrificación que permitan incentivar el crecimiento y el desarrollo económico en dichas comunidades.
2. Proyecto de Energías Renovables a Gran Escala (PERGE). Tiene como objetivo global ambiental reducir las emisiones de gases de efecto invernadero así como las barreras para la interconexión de tecnologías renovables a la red eléctrica en México. Busca apoyar a nuestro país para el desarrollo de la experiencia

⁶⁷ Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables.





inicial de un proyecto de energía renovable interconectado con base en criterios comerciales de 100 MW.

3. Programa transversal de Vivienda Sustentable. Tiene como objetivo transformar la conceptualización y prácticas constructivas de la vivienda de interés social en México, y contribuir a lograr su sustentabilidad ambiental y mejorar la calidad de vida de los mexicanos. Este convenio establece el desarrollo de criterios de sustentabilidad y recomendaciones en los principales ejes transversales como son: Energía, Agua y Residuos Sólidos. Para ello, en el rubro de energía prevé la incorporación de energías renovables y estrategias de uso racional de los recursos, con el propósito de fomentar la sustentabilidad de la vivienda, y disminuir la necesidad de incrementar la capacidad instalada.
4. Hipoteca Verde. Del Instituto Nacional de la Vivienda para los Trabajadores, comprende un crédito que incluye un monto adicional para que el derechohabiente pueda comprar una vivienda ecológica, y así tener una mejor calidad de vida, generando ahorros en su gasto familiar mensual derivados de las ecotecnologías que disminuyen los consumos de energía eléctrica, agua y gas; contribuyendo al uso eficiente y racional de los recursos naturales, y al cuidado del medio ambiente.

Todos ellos, como se puede observar, con el objetivo de lograr una sustentabilidad ambiental, mejorar la calidad de vida del país, disminuir emisiones de gases de efecto invernadero e incentiva el desarrollo y crecimiento, los cuales son de gran beneficio al país por que impulsan el desarrollo de energías renovables en México, la eficiencia, a la vez dan seguridad energética para no depender de una sola fuente de energía o de una energía no nacional y como un punto importante estas amplían la cobertura del servicio eléctrico a comunidades alejadas.

Asimismo nos muestran acciones específicas que se realizaran para el desarrollo de las energías limpias, como algunos ejemplos para el tema de tesis están, dentro de la energía eólica la creación de una base de datos con toda la información para el desarrollo de esta industria, la identificación de las zonas con este recurso y la difusión de sus beneficios en diversos sectores entre otras, y dentro del uso de energía hidráulica podemos encontrar el fortalecimiento de la electrificación rural por medio de mini centrales, el evitar impactos negativos al ambiente con su construcción entre otras. Y ambas con el objetivo de fortalecer el desarrollo tecnológico.

Con base en ello se puede decir que México cuenta con una visión en el desarrollo de energías renovables, que sabe qué debe hacer, por dónde debe ir, y sabe a dónde quiere llegar con base a ellas, no únicamente con base a energía eólica e hidráulica sino con todas las fuentes limpias, lo que falta para que estos proyectos sean reales es un compromiso más fuerte, no únicamente con el bienestar del país, en todos los términos, sino también con el medio ambiente al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y poder minimizar el efecto irreversible que hemos causado y que se manifiesta con el cambio climático.





4.2 Propuesta.

Una vez planteado y tomando en cuenta la información, de diversas fuentes, de la energía hidráulica y eólica en México puedo determinar lo siguiente:

En el caso del recurso eólico, el poco conocimiento de éste es una gran desventaja que tiene el país, creo conveniente proponer realizar un estudio mucho más detallado de la estimación del recurso eólico, así como también de su localización, debido a la falta de un mapa eólico con datos más exactos.

Si comparamos el número de estaciones anemométricas que México posee con respecto a otros países podremos observar que son insuficientes; comparados con España, por citar un ejemplo, el cual es cuarto país con la mayor capacidad mundial y conociendo que a lo largo de toda su extensión territorial tiene instalados más de 50 de estas estaciones podremos darnos cuenta que la medición de nuestro recurso es insuficiente, en comparación con México, España posee la cuarta parte de la superficie del país y en todo el territorio nacional sólo se cuentan con 24 estaciones anemométricas instaladas en el país, 19 en funcionamiento, 3 reubicadas y 2 más en exploración, distribuidas en 14 estados de la república de las 32 entidades existentes.

No obstante, los parques eólicos que se han construido hasta el momento están correctamente ubicados, es importante resaltar que aunque la zona del istmo es la más prometedora en este recurso pueden existir otras zonas dentro del territorio donde el recurso sea suficiente como para poder otorgar el servicio de energía eléctrica a un pequeño poblado, pero por obvias razones es imposible determinarlo.

Me parece que tanto las instituciones del gobierno como los diferentes institutos de investigación deben darse a la tarea de obtener un estudio a detalle del recurso antes de proporcionar una cifra del verdadero potencial eólico existente.

Por tanto, es que creo pertinente proponer cierta inversión al estudio e instalación de más estaciones anemométricas en todo el país, tanto la SENER como CFE deben poder ser capaces de aceptar que las mediciones de las escasas 22 estaciones no pueden proporcionar el valor real de este recurso y por lo cual deben poner una especial atención.

Considerando ahora el lado tecnológico, el IIE, según información del año pasado, se encontraba diseñando el primer aerogenerador mexicano, tomando en cuenta esto creo que sería muy benéfico para el país promover este tipo de proyectos. Aunque el prototipo que el IIE ha desarrollado sea un tanto bajo (1.2 MW), en comparación con las últimas tecnologías a gran escala, actualmente existe, en diversos países, el desarrollo de micro aerogeneradores los cuales están enfocados a pequeñas comunidades donde el consumo de energía es en menor proporción.

Tomando en cuenta lo anterior y conociendo que muchas comunidades lejanas no cuentan con servicio de energía eléctrica debido a cuestiones geográficas y de distanciamiento, es posible sugerir que se impulse la investigación en micro aerogeneradores, México cuenta con investigadores y mano de obra capaz de realizar con éxito este tipo de tecnología. Por lo tanto, creo conveniente que el gobierno y la dependencia encargada, CONACYT, analicen y aprueben cierta cantidad de fondos para este tipo de investigación, que al igual que la energía mini hidráulica puede ser muy benéfica.





Con respecto a la energía hidráulica de pequeña escala, se tiene el dato de que existe un potencial estimado de 3,250MW a nivel nacional, de los cuales sólo existe instalada hasta el momento la sexta parte aproximadamente de este total estudiado hasta este momento

De acuerdo a la información de plantas mini hidráulicas en el país existen más de 50 mini centrales, según información de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) muchas de estas plantas son edificadas de las presas diseñadas para riego, considerando esto creo que es posible instalar durante los siguientes años varias plantas mini hidráulicas, dado que CONAGUA proporciona la asignación o concesión del permiso de construcción sin mayor problema.

Por el lado gubernamental me parece que es preciso que se cree un marco regulatorio estable para las energías renovables, ya que la industria en México tiene problemas con establecer reglas específicas para la transmisión que conlleva a que las empresas privadas tengan dificultades en desarrollar y ampliar el mercado, aun cuando, en el caso de la energía eólica, se haya puesto en marcha el proyecto “Temporada Abierta”.

En los últimos años el gobierno ha intentado darle forma al manejo de las energías renovables, primero con la Ley de Aprovechamiento, el programa especial derivado de esta misma ley y un estudio llamado Estrategia Nacional de Energía, pero al parecer todas éstas no son suficientes para darle mayor solidez a la regulación de las renovables. En los últimos meses la Estrategia Nacional ha sido punto de críticas muy fuertes dirigidas a un mal planteamiento y estudio de las visiones que se tienen de este tipo de energías a futuro.

El reporte de la Global Wind Energy Council 2009⁶⁸, nos da una visión bastante acertada de cuáles son las debilidades que el país tiene con respecto a esto y creo es importante tomar en cuenta como se ve la estructura por fuera. En este documento nos refieren que no existen mecanismos de apoyo específicos o algún otro tipo de incentivo y normas definidas para el fondo de energías renovables, nos mencionan que el sistema judicial es débil por los problemas que existen con el arrendamiento de las tierras a largo plazo, en el caso eólico, y por conflictos entre la empresa nacional y los desarrolladores.

Por todo lo anterior, creo necesario que exista realmente un debate sobre cómo se debe actuar para llegar a metas concretas y factibles, determinar cuál es la mejor estrategia a tomar por el lado judicial para minimizar los problemas y establecer mejores acuerdos que permitan el sano desarrollo de las renovables y también importante propiciar considerables reducciones en las inversiones iniciales, mantenimiento y explotación.

Se habla mucho acerca de que las tecnologías en renovables tienen muchos problemas al ser conectados a las redes, en especial caso la energía eólica, por tanto en los últimos años se está planteando el desarrollo basado en la combinación de tecnologías. Uno de esos sistemas es el de almacenamiento eólico-hidráulico por bombeo, para satisfacer la demanda de energía o el sistema eólico-solar fotovoltaico.

El sistema, eólico-hidráulico, se puede ver como una opción bastante favorable y viable para mitigar, en cierta manera, el problema que se tiene con la intermitencia y también son de gran ayuda para minimizar los resultados negativos que conlleva el uso de energías a base de combustibles fósiles.

⁶⁸ Global Wind Report 2009, GWEC.





Otros proyectos, para la energía eólica, son el de construir aerogeneradores más pequeños con capacidades mayores con el fin de poder colocar más aerogeneradores en un espacio determinado.

Creo en este punto recalcar que la investigación es una cuestión muy importante en el desarrollo de las renovables, y a la cual se le debe de anteponer un peso considerable para que se tenga mejoras tecnológicas y correcciones a los sistemas que contribuyan al desarrollo del país o, como en el ejemplo mostrado anteriormente, desarrollar distintas tecnologías de combinación entre los diferentes tipos de energías renovables.





Capítulo 5. Conclusiones





El panorama actual de generación de energía eléctrica en nuestro país y a nivel mundial está dominado por tecnologías que utilizan fuentes fósiles para llevar a cabo dicha producción, lo cual ha resultado económicamente viable durante muchos años, pero ha tenido efectos dañinos e irreversibles sobre el medio ambiente.

Efectos que se han traducido en catástrofes naturales que han ocasionado cientos de víctimas mortales, pérdidas económicas, incremento en los precios de alimentos, de energéticos como el petróleo y sus derivados, necesidad de más y mejores servicios de salud, entre otros, lo cual ha obligado a los mandatarios de distintos países a buscar soluciones que cubran sus necesidades energéticas y que sean menos agresivas con el medio ambiente.

Esto ha causado, que las Energías Renovables, sean tomadas como una opción viable y segura para cubrir estas necesidades y dejar de lado la dependencia del petróleo y sus derivados, sin embargo, la integración de las mismas como fuentes de generación de energía eléctrica dentro del servicio eléctrico, en países como México ha sido muy lento.

Esto se debe principalmente a la carencia de un Marco Regulatorio adecuado, que legisle correctamente el uso de ellas, lo cual ha imposibilitado el crecimiento y la aplicación de las mismas.

Para el caso de las Energías Eólica e Hidráulica, las cuales fueron tema de estudio del presente trabajo, se puede destacar lo siguiente, el poco estudio del potencial eólico en nuestro país ha imposibilitado la estimación de este recurso a nivel nacional, y por lo tanto, el desarrollo de proyectos de inversión en este rubro. Para el caso de la energía hidráulica, se conoce el potencial a nivel nacional de la misma, por lo cual, la cartera de proyectos es mucho más amplia y con mayor número de proyectos factibles para su implementación, sin embargo, otros factores son los que limitan su desarrollo tanto a pequeña como a gran escala, tales como, el impacto económico, social y ambiental primordialmente.

Por otra parte, los objetivos y las acciones que el gobierno ha planteado con respecto al desarrollo de estas fuentes y demás energías renovables son claros y aceptables, el inconveniente, es la falta de procedimientos para su implementación tanto a corto, mediano y largo plazo, lo cual conlleva a un rezago en la inserción de éstas al sistema eléctrico y dentro de los planes de expansión del mismo.

Los encargados de la planeación del sistema eléctrico, optan por las tecnologías ya conocidas, que saben que han funcionado (mayormente a base de combustibles fósiles), dejando un pequeño porcentaje a proyectos de energías renovables. Justificando lo anterior, con los altos costos de la inversión inicial necesaria para llevar a cabo dichos proyectos, aun cuando, esta ha demostrado ser menor que los costos de operación de tecnologías de generación a base de combustibles fósiles.

Es tal vez conveniente también dejar a un lado proponerse metas de inserción de requerimientos de capacidad con escenarios bajos, pues creo que eso refleja que la planeación probable en el periodo no está bien sustentada y proporciona cierta desconfianza en el estudio general.

Lo que necesita el sector eléctrico es proponer mejoras normativas que consoliden la confianza e interés de los promotores para el desarrollo de estas energías, es importante que los objetivos energéticos que proponga sea





exclusivo para cada tipo de energía y que se plantee las medidas necesarias para el cumplimiento de ellas, con el fin de que no queden objetivos que a futuro no pueda cumplir.

Los objetivos planteados dentro del sector eléctrico son generales, y aunque en cierta forma consideran a cada tecnología individualmente, creo es insuficiente en el caso de las renovables. Las tecnologías de combustibles fósiles son más sencillas ya que su desarrollo no depende de lugares y mediciones específicas.

Para lograr esto sería conveniente realizar compromisos de inserción de energía renovables en un “x” porcentaje a un cierto tiempo, pero teniendo en cuenta un análisis exhaustivo de cada área y sus posibilidades de desarrollo y, determinado una vez esto, la prospectiva que se genere podrá ser de ayuda una vez cumplido su plazo para poder determinar cuáles son las barreras que se encontraron durante ese periodo de tiempo que propiciaron que el compromiso de cada una de las energías no pudiera ser terminado.

Establecer e integrar objetivos de política energética de acuerdo a las perspectivas y tener un sector industrial maduro es muy importante en el desarrollo de las energías renovables.

Realizar mejoras tecnológicas en todo tipo de aspectos en las energías renovables es un punto en el que el gobierno deberá de poner especial atención, pues es posible corregir ciertos problemas técnicos de ciertas tecnologías y contribuir a una mayor eficiencia en los sistemas, para lo cual debe de invertir en programas de investigación y desarrollo tecnológico, o en otro caso poder desarrollar nuevas tecnologías como la eólica marina (offshore), etc.





Relación de tablas y figuras.

Capítulo 1. Energía eólica e hidráulica.

<i>Figura 1- 1. Ciclo hidrológico.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 1- 2. Esquema de presa.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 1- 3. Circulación termohalina</i>	<i>6</i>
<i>Figura 1- 4. Distribución de corrientes transoceánicas.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 1- 5. Evolución de producción hidroeléctrica de 1971-2008 por región.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 1- 6. Porcentajes de producción hidroeléctrica de 1973-2008 por regiones.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 1- 7. Partes de una pequeña central hidroeléctrica.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 1- 8. Turbina Pelton.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 1- 9. Turbina Pelton de eje vertical.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 1- 10. Turbina pelton de eje horizontal.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 1- 11. Turbina Francis.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 1- 12. Caracol o caja espiral de turbina Francis.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 1- 13. Difusor de una turbina Francis.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 1- 14. Turbina Kaplan.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 1- 15. Rotor de Turbina Kaplan.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 1- 16. Funcionamiento de una turbina Kaplan.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 1- 17. Circulación atmosférica.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 1- 18. Partes de un aerogenerador.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 1- 19. Relación de medidas de un aerogenerador.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 1- 20. Aerogenerador tipo Darrieus.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 1- 21. Aerogenerador tipo Panémona.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 1- 22. Aerogenerador tipo Savonius.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 1- 23. Aerogenerador horizontal.....</i>	<i>42</i>
<i>Gráfica 1. 1. Crecimiento de la energía hidráulica mundial 1999-2009.....</i>	<i>12</i>
<i>Gráfica 1. 2. Consumo hidroeléctrico mundial en diferentes regiones.....</i>	<i>12</i>
<i>Gráfica 1. 3. Crecimiento de la capacidad eólica mundial (1990-2008).....</i>	<i>34</i>
<i>Gráfica 1. 4. Capacidad mundial total instalada.....</i>	<i>35</i>
<i>Gráfica 1. 5. Capacidad Nueva Instalada 2001-2010.....</i>	<i>36</i>
<i>Gráfica 1. 6. Principales países con mayor tasa de crecimiento.....</i>	<i>36</i>
<i>Gráfica 1. 7. Capacidad eólica total instalada 1997-2020.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 1. 1. Capacidad hidráulica mundial instalada a 2009.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 1. 2. Capacidad existente de gran y pequeñas hidráulicas a 2009.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 1. 3. Capacidad eólica mundial instalada a 2009.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 1. 4. Fabricantes líderes de turbinas eólicas (2009).....</i>	<i>40</i>
<i>Cuadro 1- 1. Localización por regiones de recurso eólico.....</i>	<i>33</i>



Capítulo 2. El Sistema Eléctrico Mexicano.

<i>Figura 2- 1. Estructura del sector energético mexicano.....</i>	<i>62</i>
--	-----------

Capítulo 3. Situación de la energía eólica e hidráulica en México.

<i>Figura 3- 1. Capacidad efectiva instalada nacional, 2008.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3- 2. Capacidad efectiva al 31 de diciembre, 2007 y 2008</i>	<i>70</i>
<i>Figura 3- 3. Margen de reserva del Sistema Interconectado Nacional.</i>	<i>71</i>
<i>Figura 3- 4. Programa de expansión del SEN, 2009-2024.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 3- 5. Mapa de centrales terminadas o en construcción, 2009-2013.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 3- 6. Mapa de centrales en proceso de licitación.....</i>	<i>75</i>

<i>Gráfica 3. 1. Capacidad efectiva por tecnología y área de control.</i>	<i>69</i>
--	-----------

<i>Tabla 3. 1. Proyectos eólicos comprometidos.</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 3. 2. Proyectos eólicos potenciales.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 3. 3. Centrales mini hidráulicas privadas.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 3. 4. Centrales mini hidráulicas de CFE.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 3. 5. Centrales mini hidráulicas sin servicio de CFE.</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 3. 6. Centrales mini hidráulicas de la extinta Luz y Fuerza.</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 3. 7. Proyectos hidráulicos de pequeña producción.</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 3. 8. Proyectos hidráulicos de pequeña capacidad factibles.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 3. 9. Matriz resultante de impactos económicos.</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 3. 10. Matriz resultante de impactos ambientales.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 3. 11. Matriz resultante de impactos sociales.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 3. 12. Matriz resultante de impactos técnicos.</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 3. 13. Matriz resultante final.</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 3. 14. Suma total de ponderaciones por tecnología.....</i>	<i>98</i>

<i>Cuadro 3. 1. Consumo nacional de energía eléctrica, 1998-2008.</i>	<i>66</i>
<i>Cuadro 3. 2. Capacidad efectiva del servicio público por tipo de central, 1998-2008.</i>	<i>67</i>
<i>Cuadro 3. 3. Capacidad efectiva por tecnología y área de control (MW).</i>	<i>69</i>
<i>Cuadro 3. 4. Programa de adiciones de capacidad en el SEN, 2009-2024.</i>	<i>72</i>
<i>Cuadro 3. 5. Proyectos de generación en construcción o proceso de licitación, 2009-2013.</i>	<i>74</i>
<i>Cuadro 3. 6. Capacidad y generación eléctrica en México por tipo de energía (2008).</i>	<i>76</i>
<i>Cuadro 3. 7. Programa de requerimiento de capacidad de energía renovable, 2010-2023.....</i>	<i>77</i>



Bibliografía.

Capítulo 1.

Borja Díaz, M. A. (1998). *Estado del arte y tendencias de la tecnología eoloeléctrica*. UNAM Programa Universitario de Energía, Instituto de Investigaciones Eléctricas .

Denduey, D. (1991). *Raudales de energía : el potencial de la energía hidroeléctrica*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Eutrificación en embalses. (s.f.). Obtenido de Ambiente Ecológico: <http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/072-07-2000/072-silvinagutierrez.html>

Hydropower FAQ. (s.f.). Obtenido de IEA Hydropower: <http://www.ieahydro.org/FAQ.html>

International Energy Agency . (s.f.). Obtenido de sitio WEB de IEA:
http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf

Key World Energy Statistics 2010. (s.f.). Obtenido de International Energy Agency:
http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf

Ortiz Florez, R. (2001). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Mc Graw-Hill.

Renewables Global Status Report 2010. (s.f.). Obtenido de REN 21:
http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/REN21_GSR_2010_full_revised%20Sept2010.pdf

Survey of energy resources 2007. (s.f.). Obtenido de World Energy Council:
http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_2007/hydropower/691.asp

Survey of energy resources 2010. (s.f.). Obtenido de World Energy Council. :
http://www.worldenergy.org/documents/ser_2010_report_1.pdf

Top 10 wind power companies. (s.f.). Obtenido de <http://caps.fool.com/blogs/top-10-wind-power-companies/527185>

Viejo Zubicaray, M. (1977). *Energía hidroeléctrica : Turbinas y plantas generadoras*. Limusa.

World Wind Energy Report 2010. (s.f.). Obtenido de World Wind Energy Association:
http://www.wwindea.org/home/images/stories/worldwindenergyreport2009_e.pdf

BP Statistical Review of World Energy June 2010. (s.f.). Obtenido de BP (British Petroleum):
http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/2010_downloads/statistical_review_of_world_energy_full_report_2010.pdf



Capítulo 2.

Cuarto Informe de Labores. (s.f.). Obtenido de Secretaría de Energía, SENER :
<http://www.energia.gob.mx/res/0/CuartoInformeLaboresSENER2010.pdf>

Decreto por el cual se crea el organismo descentralizado Luz y Fuerza del Centro. (s.f.). Obtenido de Secretaría de Energía, SENER: http://www.energia.gob.mx/webSener/res/Acerca_de/DecLFC.pdf

Decreto por el que se extingue el organismo descentralizado Luz y Fuerza del Centro. (s.f.). Obtenido de Secretaría de Energía, SENER: http://www.energia.gob.mx/res/Acerca_de/DE_LFC_11102009.pdf

Evolución del Sector Eléctrico. Publicación de la Secretaría de Energía, SENER.

Historia de la SENER. (s.f.). Obtenido de Secretaría de Energía, SENER:
<http://www.energia.gob.mx/portal/Mobil.aspx?id=857>

Petróleos Mexicanos, PEMEX. (s.f.). Obtenido de Wikipedia:
http://es.wikipedia.org/wiki/Petr%C3%B3leos_Mexicanos

Situación financiera de Luz y Fuerza del Centro. (s.f.). Obtenido de Centro de estudios de finanzas públicas:
<http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0972007.pdf>

Capítulo 3.

Comparing Greenhouse-Gas Emissions and Abatement Costs of Nuclear and Alternative Energy Options from a Life-Cycle Perspective (1997). (s.f.). Obtenido de Instituto de Ecología Aplicada (por sus siglas en alemán, Öko):
http://www.oeko.de/service/gemis/files/info/nuke_co2_en.pdf

Emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas de América del Norte (2004). (s.f.). Obtenido de Comisión para la Cooperación Ambiental (por sus siglas en inglés, CEC):
http://www.cec.org/Storage/56/4878_PowerPlant_AirEmission_es.pdf

Estrategia Nacional de Energía. (s.f.). Obtenido de Secretaría de Energía, SENER:
<http://www.energia.gob.mx/res/1646/EstrategiaNacionaldeEnergiaRatificadaporelHCongresodelaUnion.pdf>

Informe del Director General de ICA, Dr. José Luis Guerrero. (s.f.). Obtenido de El Heraldo ciudadano:
<http://www.elheraldociudadano.com.mx/wp-admin/Revista/CH-2.pdf>

Libro de Consulta para Evaluación Ambiental. Volumen III. (s.f.). Obtenido de Wikibooks:
http://es.wikibooks.org/wiki/Impactos_ambientales#Parte_III_-_Impactos_ambientales_potenciales_de_actividades_agr.C3.ADcolas_y_forestales



Programa de Obras e inversiones del Sector Eléctrico 2010-2024. (s.f.). Obtenido de http://www.semarnat.gob.mx/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos%20pacifico%20norte/1sesion_ot/pre_sector_electrico_2010_2024.pdf

Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables. (s.f.). Obtenido de Secretaría de Energía, SENER: <http://www.sener.gob.mx/res/0/Programa%20Energias%20Renovables.pdf>

Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024. (s.f.). Obtenido de Secretaría de Energía, SENER: http://www.energia.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva_electricidad%20_2009-2024.pdf