



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

División de Ingeniería Eléctrica

**TESIS**

**EVALUACIÓN TÉCNICA- ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE  
GENERACIÓN ELÉCTRICA EN BASE A UNA MICRO TURBINA  
HIDRÁULICA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

**PRESENTA:**

ACEVEDO SOLANO LINA

**PROFESOR ASESOR**

Dr. GABRIEL LEÓN DE LOS SANTOS

**CIUDAD UNIVERSITARIA, México, 2014**





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.

---

---

## INDICE

INDICE	2
OBJETIVO	8
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	10
Capítulo I ANTECEDENTES	13
INTRODUCCIÓN	14
1.1.- ENERGÍA Y DESARROLLO SUSTENTABLE	14
1.2.- ENERGÍAS RENOVABLES Y NO RENOVABLES	15
1.3.- GENERACIÓN ELÉCTRICA EN PEQUEÑA ESCALA	20
1.4.- PROYECTOS EN COMUNIDADES RURALES	21
1.5.- EJEMPLOS DE PLANTAS MICRO-HIDRÁULICAS EN MÉXICO	22
CONCLUSIÓN	24
Capítulo II ENERGÍA HIDRÁULICA	25
INTRODUCCIÓN	26
2.1.- ENERGÍA MICRO-HIDRÁULICA	26
2.2.- CLASIFICACIÓN DE PLANTAS HIDRÁULICAS	26
2.3.- ASPECTOS DE LA OBRA CIVIL Y ELECTROMECAÑICOS	30
2.4.-ELEMENTOS ELECTROMECAÑICOS DE LA OBRA CIVIL	32
2.5.- ASPECTOS LEGALES Y AMBIENTALES	34
2.6.- DESARROLLO DE LA CENTRAL	40
CONCLUSIÓN	52
Capítulo III DISPONIBILIDAD DE RECURSOS, GEOGRÁFICOS, ENERGÉTICOS E HÍDRICOS	53
INTRODUCCIÓN	54
3.1.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SITIO	54
3.2.- POTENCIAL ENERGÉTICO DISPONIBLE	59
3.3.- NECESIDAD ENERGÉTICA DE LA COMUNIDAD	65
3.4.- ANÁLISIS DE CARGAS E INSTALACIONES	69
CONCLUSIÓN	73
Capítulo IV FACTIBILIDAD TÉCNICA Y VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO	74
INTRODUCCIÓN	75

---

---

4.1.-OBRAS DE DERIVACIÓN	75
4.2.- BOCATOMA	75
4.3.- CANAL	76
4.4.- ALIVIADERO	77
4.5.- CÁMARA DE CARGA	77
4.6.- TUBERÍA DE PRESIÓN	78
4.7.- TURBINA / GENERADOR	79
4.8.- CASA DE MAQUÍNAS	80
4.9.- EVALUACIÓN ECONÓMICA	81
4.10.-IMPLICACIONES MEDIO AMBIENTALES	88
CONCLUSIÓN	94
CONCLUSIÓN	95
RECOMENDACIONES	96
ANEXO A	99
ANEXO B	100
ANEXO C	103
ANEXO D	104
ANEXO E	105
BIBLIOGRAFÍA	108
REFERENCIAS	110

---

---

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1.- Mini y Micro-hidráulicas en México	23
Tabla II-1.-Evolución legal de la Energías Renovables en México.	34
Tabla II-2.- Efectividad de los materiales en Tuberías.	46
Tabla II-3.- Características de las Turbinas.	49
Tabla III-1.- Diámetro de la tubería	60
Tabla III-2.-Características para una turbina Turgo.	63
Tabla III-3.- Datos medidos para el cálculo del caudal	64
Tabla III-4.- Censo de población en Santo Tomas Ajusco.	66
Tabla III-5.- Censo de servicios en Santo Tomas Ajusco.	67
Tabla III-6.- Potencia de aparatos domésticos comunes.	70
Tabla III-7.- Demanda energética calculada y real	72
Tabla IV-1.-Precios y Costos Civiles	83
Tabla IV-2.- Tabla del análisis de sensibilidad TREMA	86
Tabla IV-3 Proyectos aprobados por el consejo de los MDL en México	91
Tabla IV-4.- Resultados obtenidos en el cálculo de las emisiones evitadas por el proyecto.	92
Tabla IV-5.- Acumulación de los ingresos evitados durante el plazo del proyecto	93

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica I-1-. Energía hidroeléctrica relación de desarrollo para las regiones del mundo y los cinco primeros países del mundo y los cinco primeros países de alto potencial de generación (izquierda). Países poco desarrollados con mayor proporción de potencial hidroeléctrico (derecha).	15
Gráfica I-2.- Escala de servicio para la interconexión por la CRE	20
Gráfica II-1.- Escala para contratos de interconexión	36
Gráfica II-2.- Funcionamiento del Banco de energía.	38
Gráfica III-1.-Gráfica de Turbinas	63
Gráfica III-2.- Gráfica del crecimiento total de viviendas habitadas en la Delegación Tlalpan en 15 años Fuente: INEGI, (2010)	66
Gráfica III-3.- Gráfica de la representación de energía en el pueblo de Santo Tomás con respecto a la Delegación de Tlalpan	68
Gráfica III-4.- Gráfica representativa del agua potable entubada en Santo Tomás comparada con el total de la delegación de Tlalpan.	69
Gráfica IV-1.- Período de Recuperación de la Inversión TIR, para TREMA 16%	86
Gráfica IV-2.- Periodo de Recuperación de la Inversión TIR, para TREMA 10%	87
Gráfica IV-3.- Periodo de Recuperación de la Inversión TIR, para TREMA 18%	87
Gráfica IV-4.- Periodo de Recuperación de la Inversión TIR para TREMA 20%	88
Gráfica IV-5.- Emisiones acumuladas evitadas por el proyecto.	94

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I-1.- Clasificación de Energía Renovable	16
Figura I-2.- Clasificación de energía No renovable	17
Figura I-3.-Ciclo Hidrológico	17
Figura I-4.- Nivel de precipitación en México	19
Figura I-5.- Estadística y mapa de la Población Nacional	21
Figura II-1.-Ejemplo de un sistema de Derivación	27
Figura II-2.-Ejemplo de un sistema de embalse	28
Figura II-3.-Sub-clasificaciones de canales según su geografía	29
Figura II-4.-Ejemplo de rutas de abastecimiento Fuente: Coz Et al, (1996), Manual de Mini y Micro centrales Hidráulicas una guía para el desarrollo de proyectos	30
Figura II-5 .- Ejemplo de un Desarenador	31
Figura II-6.-Ejemplo de una ruta de abastecimiento modificada	32
Figura II-7.- Generador de inducción Fuente: <a href="http://www.kailidamotor.com">www.kailidamotor.com</a>	32
Figura II-8.- Generador Síncrono	33
Figura II-9.- Instrumentos Regulatorios CRE.	35
Figura II-10.- Canal de derivación a Cielo Abierto Fuente: Comisión Europea, (1998) Manual para una pequeña hidráulica.	41
Figura II-11.- Canal de derivación en Túnel. Fuente: Comisión Europea, (1998) Manual para una pequeña hidráulica.	42
Figura II-12.- Cámara de carga.	43
Figura II-13.- Ejemplo de un Aliviadero	44
Figura II-14.-Coeficiente de rugosidad de los materiales para un canal.	45
Figura II-15.- Conductores Utilizados en comunidades rurales.	51
Figura III-1.-Vista de los Apapaxtles	54
Figura III-2.-Mapa de la delegación de Tlalpan	55
Figura III-3.- Vista de los alrededores de los Apapaxtles.	56
Figura III-4.- Vista superior de los Apapaxtles	56
Figura III-5.-Ubicación Orográfica y Geográfica de los Apapaxtles	57
Figura III-6.-Ubicación Geográfica de los Apapaxtles	58
Figura III-7.- Climas de la región.	58
Figura III-8.- Ilustración de la Región	58
Figura III-10.-Instalación de Línea Bifásica	70
Figura III-9.- Instalación de Línea Monofásico habitacional	70
Figura III-11.-Instalación eléctrica en una vivienda típica.	71
Figura IV-1.-Obra de derivación y Bocatoma en los Apapaxtles.	76
Figura IV-2.-Canal a Cielo Abierto de los Apapaxtles.	76
Figura IV-3.-Aliviadero de los Apapaxtles.	77
Figura IV-4.-Cámara de carga de los Apapaxtles.	78
Figura IV-5.-Tubería de los Apapaxtles.	79
Figura IV-6.-Turbina Turgo de 110 KW.	80
Figura IV-7.-Ejemplo de conexión de la turbina	80

---

---

## AGRADECIMIENTOS

*Estoy segura que esta es la parte más difícil que he tenido que escribir en este texto, y no porque no sepa a quién agradecer sino porque no hay palabras suficientes para la gratitud que siento:*

*A Dios a quien debo todo lo que me ha dado, por permitirme realizar mis sueños, y de conocer a toda esta gente.*

*A mi querida E.N.P. 7 que vio mis comienzos en este incansable proceso de aprendizaje.*

*A mi alma máter la Universidad Nacional Autónoma de México, que a través de su Facultad de Ingeniería me abrió las puertas y un mundo lleno de conocimiento y privilegios enriquecedores.*

*Durante todas mis materias estuve rodeada de profesores extraordinarios que siempre recordaré y que agradezco me brindaran su conocimiento, pero debo agradecer en especial:*

*Al Ing. Balmori, por enseñarme lineal, álgebra y analítica.*

*Al Ing. Guerrero Lutherot +, por enseñarme que un ingeniero siempre debe dar una solución y claro por las paletas de menta con chocolate.*

*Al Dr. Gabriel León, que además de profesor a sabido ser amigo, asesor, psicólogo, y ha sabido tolerar a este huracán-cometa-consentido, gracias Doctor.*

*Y por supuesto sin falla alguna a mis queridos amigos que sin su apoyo yo no podría estar aquí, gracias: Angélica, Antuanette, Noemí, Erick, Adriana, Yessika, Oscar, Azucena, Hilda, Isabel y Araceli, porque de cada uno aprendí algo y sobre todo porque conservo una gran amistad con cada uno, de verdad mil gracias.*

*A Lina Martínez Camacho+, porque sus palabras resuenan en mi eternidad, gracias abuela.*

*A mis tíos, Martha, Israel y Araceli, por todos sus buenos consejos.*

*A mis abuelos Emilio y Lupita, gracias.*

*A mi hermano, porque algún día fui su orgullo.*

---

---

*A mi Papá Gabriel Acevedo, por ser incondicional ante mis decisiones y porque has sido tú quien me abrió las puertas a esta profesión, por su valiosa guía, apoyo y amor, Gracias Pa´.*

*Si de alguien he aprendido ha sido de mi Mamá, Rocío Solano, quien lleva el mérito de mi persona y porque ella tiene un Doctorado como madre, porque sin ella yo no podría haber hecho realidad este anhelo. Mami te amo y estaré eternamente agradecida por todo lo que me has dado.*

*Y por último debo agradecerme a mí y al amor infinito que le tengo a la ingeniería*

*Con todo cariño*

*¡Gracias ¡*

*LINA A.S.*

---

---

## **OBJETIVO**

Realizar un estudio de factibilidad y viabilidad para producción de energía a través del aprovechamiento de un ojo de agua en una central micro- hidráulica con el objetivo de autoabastecer eléctricamente y suministrar agua a una parte de la comunidad de Santo Tomas Ajusco.

Así como ayudar a la mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI), sin alterar drásticamente el medio ambiente.

---

---

## RESUMEN

La presente tesis propuso y evaluó técnica, económica, ambiental y socialmente, a una micro-central con el fin de generar energía eléctrica y abastecer de agua a una parte de la comunidad de Santo Tomas Ajusco, a través de una micro-turbina. La propuesta fue realizada por la carencia de agua y los desbalances eléctricos.

Para esto se estableció la definición de Energía renovable y no renovable, se investigó, el nivel de precipitaciones anuales y en la temporada de sequía y lluvia.

Se analizaron los contratos de interconexión para fuentes de pequeña escala, la Ley de aprovechamiento energético, la Regulación para el aprovechamiento de aguas nacionales, entre otras que nos sirvió para darle un mejor uso a la energía eléctrica obteniendo una mejor beneficio.

Se realizó un estudio de las características que conforman una micro hidroeléctrica, donde se establecieron los parámetros para el diseño de una, dando paso a la comparación de algunos elementos que anteriormente ya se encontraban construidos como parte de la captación de agua hecha y diseñada por la comunidad de Santo Tomás.

Después de establecer el diseño básico de la micro central se procedió a hacer un estudio estadístico social, para conocer cuáles son sus demandas energéticas y cuál es el uso, dado al suministro eléctrico, así como de los suministros de agua y drenaje. Por lo consiguiente se detectó que la comunidad no tenía un desabasto eléctrico, sino que su conexión a la red era de manera ilegal, hecho que la Comisión Federal de Electricidad se dio a la tarea de corregir.

Por lo que se decidió utilizar la energía generada por la micro-turbina para ser vendida y generar auto abasto para algunos albergues y auditorios con los que cuenta la comunidad, esta decisión se tomó en base a los tipos de contratos que ofrece la CRE y la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.

Para concluir se realizó un análisis económico para saber si el diseño de la micro central fuera rentable, tanto para un inversionista como para el pequeño productor, y aunado a esto se obtuvieron los resultados de la emisiones evitadas anuales de CO<sup>2</sup>, que si bien no es el principal objetivo, si enriquece a la propuesta.

---

---

## INTRODUCCIÓN

La energía en cualquiera de sus formas no puede crearse ni destruirse; solo se puede cambiar de una forma a otra (primera Ley de la Termodinámica). Aunque la energía no se pierde, si se degrada en un proceso irreversible (segunda ley de la Termodinámica). Por ello, en rigor la energía no puede considerarse *renovable*. Lo que puede renovarse es su fuente, por ejemplo el viento, o una caída de agua. Sin embargo, el uso del lenguaje ha llevado a las *fuentes renovables de energía* a denominarse simplemente *energías renovables* (Alatorre, 2009); por lo tanto aprovecharemos el ciclo hidrológico como una fuente renovable para generar energía.

Con esta premisa se plantea realizar un estudio de factibilidad técnica y económica para producción de energía eléctrica a través de una micro- hidráulica con el objetivo de generar energía eléctrica y abastecer de agua a una comunidad sub urbana, aprovechando uno de los muchos recursos naturales con los que cuenta, buscando afectar al mínimo el ambiente.

Se sabe que las instalaciones de grandes dimensiones con embalses para millones de metros cúbicos de agua, tienen un impacto negativo sobre el medio ambiente, debido a que pueden producir trastornos en los ecosistemas preexistentes, ya que se han modificado los caudales de agua, dejando secos los ríos en largos tramos y por muchos meses al año, con graves daños para el patrimonio. Pueden modificar las capas acuíferas, empeorar la calidad del agua por el menor poder de dilución de los contaminantes y, a veces, pueden llegar a causar daños medioambientales irreversibles, todo esto aunque se utilice una fuente de energía renovable.

Para considerar un procedimiento sustentable y factible su construcción o edificación deberá ser de mínimo impacto para alterar al medio lo menos posible; por lo que para esta tesis se pone a consideración una micro-hidráulica como proyecto factible para la zona de los Apapaxtles (en el Ajusco) al sur del D.F.

Las consideraciones medio ambientales sobre las grandes instalaciones hidroeléctricas cambian radicalmente para la puesta en marcha de una pequeña escala ya que no superan los 100 kW de potencia y su impacto medioambiental es mínimo como se manifiesta a continuación.

Los beneficios medioambientales derivados de las instalaciones hidráulicas de pequeña escala son las siguientes:

- Pueden proporcionar energía eléctrica a zonas rurales que de otra manera estarían aisladas o solo serían alcanzables 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.
  - Ayudan a reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles, además no producen emisiones de gases de efecto invernadero, ni otras sustancias contaminantes. (Florida, 2012).
  - Las instalaciones hidroeléctricas de pequeña escala representan por lo tanto una importante fuente energética renovable y pueden contribuir activamente al desarrollo sustentable del territorio. (Florida, 2012).
  - El uso bien proporcionado y la adecuada ubicación de estas centrales en pequeña escala, resulta económicamente competitivo respecto a las otras fuentes energéticas renovables, considerando los costos globales reales, también respecto a las fuentes energéticas tradicionales (Florida, 2012).

La energía hidráulica tiene su origen en el "ciclo del agua" generado por el Sol, al evaporar las aguas de mares y lagos. Esta agua cae en forma de lluvia y nieve sobre la tierra y vuelve hasta los lagos y mares, donde el ciclo se reinicia. La energía hidráulica se obtiene a partir de la energía potencial asociada a los saltos de agua y a la diferencia de alturas entre dos puntos del curso de un caudal a una gran velocidad.

Actualmente la fuerza hidráulica se utiliza sobre todo para la producción de energía eléctrica aunque originalmente se utilizaba como energía mecánica en los molinos. Desde hace casi un siglo y medio las represas y las centrales hidroeléctricas son parte del paisaje de nuestras montañas, contribuyendo a consolidar en nuestra mente la idea de que el recurso hidroeléctrico es limpio, disponible y renovable.

Hay básicamente dos tipos de centrales hidroeléctricas, estas son: **Las centrales de embalse y las centrales de pasada**. Las centrales de embalse utilizan el agua acumulada en un lago que luego liberan para generar electricidad según la demanda que requieran.

Las centrales de pasada en cambio, utilizan el agua que fluye por los ríos, que es captada en un punto, para luego liberarlas en otro donde se maximice la altura de la caída para aprovechar mejor su potencial. Como se pretende afectar lo menos posible el ecosistema y reducir su impacto ambiental, utilizaremos para el análisis de esta tesis al segundo tipo de hidráulica, las denominadas centrales de pasada.

Por otro lado, en cuanto a la metodología y estructura del trabajo, se realizará el estudio de factibilidad técnica y económica para hacer que el afluente no solo suministre agua

---

---

---

---

sino que también produzca energía eléctrica logrando un segundo beneficio a la comunidad.

Para lo cual la primera tarea es realizar un estudio de los conceptos y contexto de desarrollo del proyecto como son: el uso de energía renovable, el cuidado del medio ambiente, las normativas y reglamentos vigentes para el uso y aprovechamiento de recursos hidráulicos en mini y micro generación.

Para después hacer la descripción y configuración de una central hidráulica del tipo pequeña escala que podrá ser utilizada, y con ello tener el panorama claro de los datos y análisis que se deberán hacer. Una vez hecho esto, el siguiente paso es determinar el potencial energético de escurrimiento del agua proveniente de dos ojos de agua.

Con este potencial y las características de las centrales, se hará la propuesta de la central y su evaluación técnica para conocer sus parámetros de desempeño y generación. Para por último evaluar la viabilidad económica de la operación de la central, estableciendo además las implicaciones ambientales de la operación del proyecto.

---

---

Capítulo I ANTECEDENTES

*Comprometidos con la satisfacción de las  
necesidades del presente sin comprometer  
las necesidades de las futuras generaciones*

1

---

<sup>1</sup> Desarrollo Sostenible , Informe Brundtland (ONU)

---

---

---

---

## INTRODUCCIÓN

La información reunida para este capítulo generaliza y define el contexto de la tesis que trata sobre los diferentes usos que puede tener la energía renovable, siendo que ésta tiene sus características dependiendo de su fuente de generación; Por lo que también se introduce al tema del desarrollo de una micro – hidráulica, ejemplificando algunos proyectos que anteriormente se han realizado y aún se emplean.

También se introduce al argumento del porqué una generación en pequeña escala puede ser sustentable y desarrollarse en alguna comunidad rural siendo éstas las más beneficiadas.

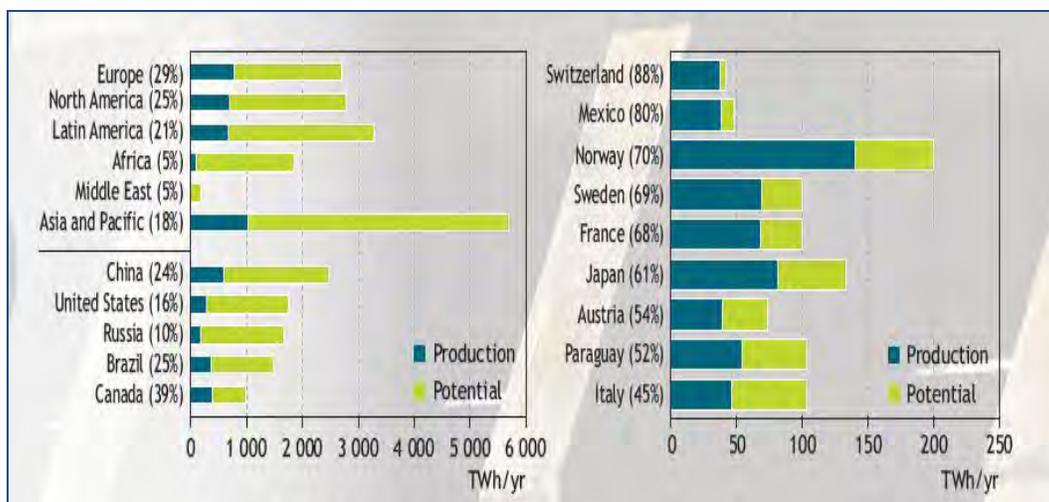
### 1.1.- ENERGÍA Y DESARROLLO SUSTENTABLE

En 1982 se publicó la primera definición de Desarrollo Sustentable (*Satisfacer las necesidades humanas , conservar el planeta tierra y generar crecimiento económico en países pobres*) que fue elaborado por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo creada por las Naciones Unidas, definición que ha tomado diferentes rumbos con respecto a cada conferencia realizada, ejemplo claro es la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, celebrada en diciembre del 2009 en Copenhague .

Donde los temas más imponentes fueron limitar el aumento de la temperatura global a 2 grados Celsius sobre niveles preindustriales, se estableció una meta para que los países industrializados proporcionen financiamiento, para la mitigación del cambio climático y la adaptación en los países en desarrollo, de 100 mil millones de dólares estadounidenses por año hasta el 2020, y exige a países industrializados fijar objetivos de emisiones para ese mismo año (IEA, 2010).

El desarrollo de muchas de las llamadas energías renovables dependen de la política energética de cada país y del subsidio que los mismos brinden y de las perspectivas planteadas para el 2035. Uno de los escenarios energéticos mundiales es que la demanda de energía primaria en el lapso de 2008 a 2035 aumentará un 36% de cerca de 12 300 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) a más de 16 700 Mtep, lo que pone en perspectiva la generación de energía sobre todo para países en desarrollo como lo es México. Además se debe tomar en cuenta que para soportar la demanda energética, la generación deberá incluir fuentes de energía renovable para lograr el objetivo de disminuir el CO<sub>2</sub> generado por otros combustibles (IEA, 2010).

Que de entre estas fuentes renovables se tienen con gran crecimiento y potencial a corto plazo la energía eólica y la hidráulica que para esta última se muestra la siguiente Gráfica I-1



Gráfica I-1.- Energía hidroeléctrica relación de desarrollo para las regiones del mundo y los cinco primeros países del mundo y los cinco primeros países de alto potencial de generación (izquierda). Países poco desarrollados con mayor proporción de potencial hidroeléctrico (derecha).

Fuente: Key world energy statistics, Paris, IEA, 2010

## 1.2.- ENERGÍAS RENOVABLES Y NO RENOVABLES

La clasificación de las fuentes de energía ha adquirido una vital importancia en las últimas décadas debido a que las fuentes inagotables de energía denominadas renovables han detonado un “*bum*” sobre el cambio climático ya que son ellas las que por su poca o nula emisión de gases de efecto invernadero son la principal arma del hombre para disminuir los efectos del calentamiento global.

Con el fin de ilustrar en que categoría cae el proyecto de una micro - hidroeléctrica vamos a definir energía renovable y no renovable para sustento y base de esta tesis.

### ***Energía Renovable***

Son aquellas fuentes de energía que no se agotarán o están disponibles en forma continua con respecto al período de vida de la raza humana en el planeta. En términos generales podemos considerar a la energía solar, como nuestra fuente energética total, porque excluyendo la geotermia todas las demás fuentes renovables se derivan de la radiación de esta estrella (WCAP, 2012).

El Sol se encarga de calentar la atmósfera terrestre, causando gradientes de temperatura, lo que trae consigo diferencias de presión, y como consecuencia los vientos, origen de la energía eólica, también evapora el agua que bajo las condiciones atmosféricas propicias se precipita en forma de lluvia en zonas más altas, obteniendo con esto energía potencial la cual puede ser aprovechada con tecnologías de turbinas hidráulicas para generar electricidad o accionar equipos mecánicos (WCAP, 2012).

La clasificación de las energías renovables más comunes es la siguiente:<sup>2</sup>

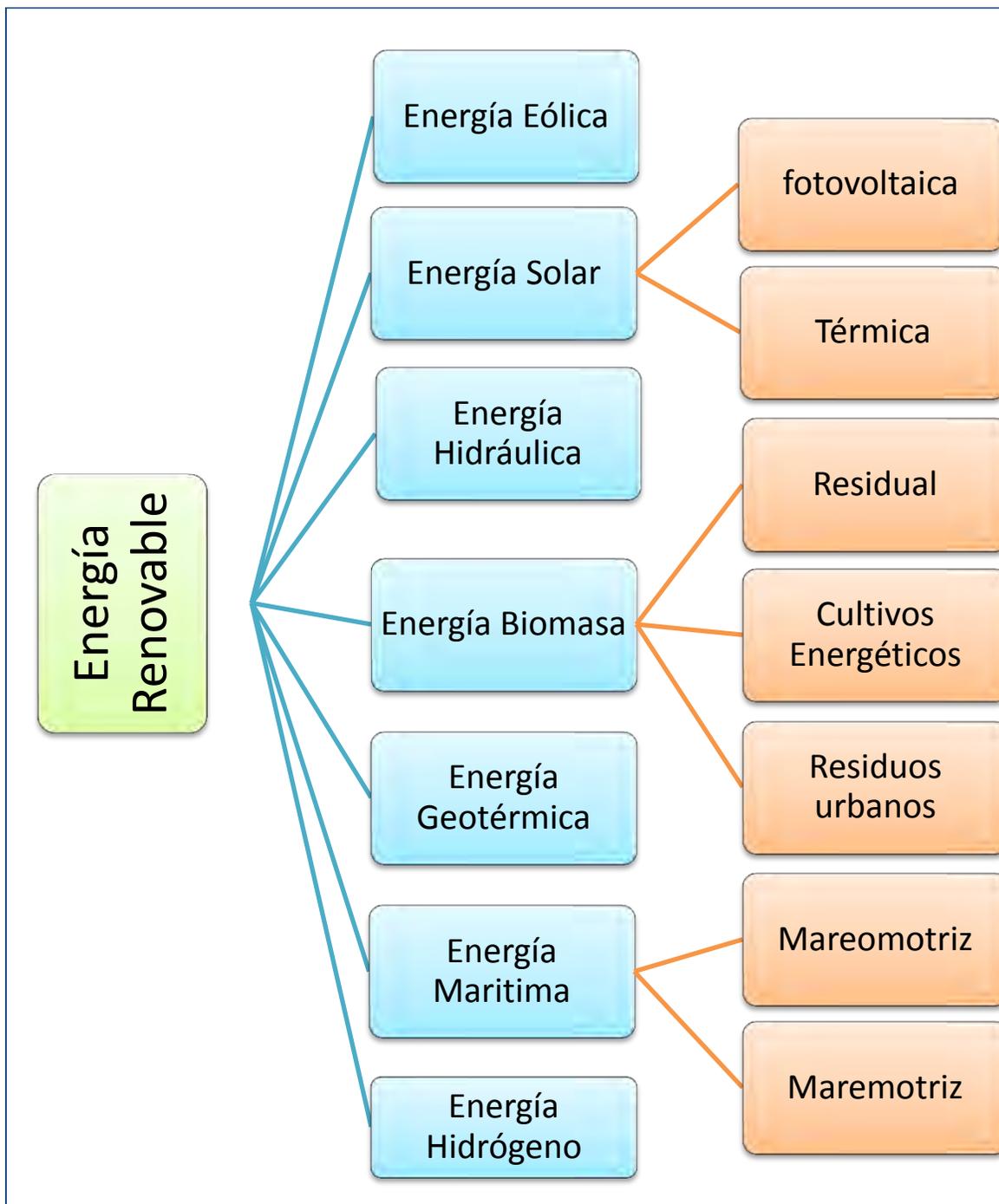


Figura I-1.- Clasificación de Energía Renovable  
Fuente: [www.conuee.com.mx](http://www.conuee.com.mx), México, 2010

<sup>2</sup> Definición CONUEE

---

## **Energía No Renovable**

Es aquella que se encuentra de manera limitada en la naturaleza, normalmente se relaciona la idea de no renovable con combustibles fósiles, pero no es la única energía que se encuentra limitada por su producción.

La clasificación de las fuentes de energía no renovable se divide en 2:

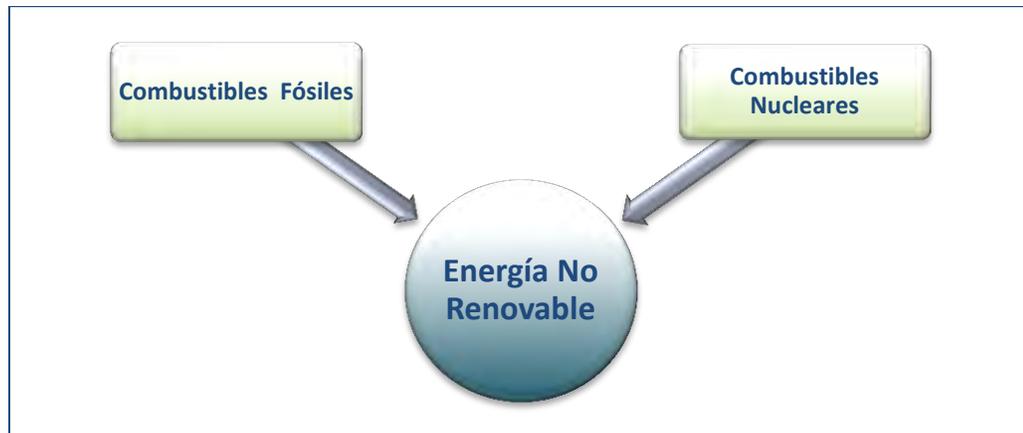


Figura I-2.- Clasificación de energía No renovable  
Fuente: [www.conuee.com.mx](http://www.conuee.com.mx), México, (2010)

Por lo tanto en base a las definiciones dadas anteriormente se denomina a la energía hidráulica como renovable, por el ciclo hidrológico constante que se ilustra en la siguiente Figura I-3 que es sostén central de la producción de energía eléctrica.

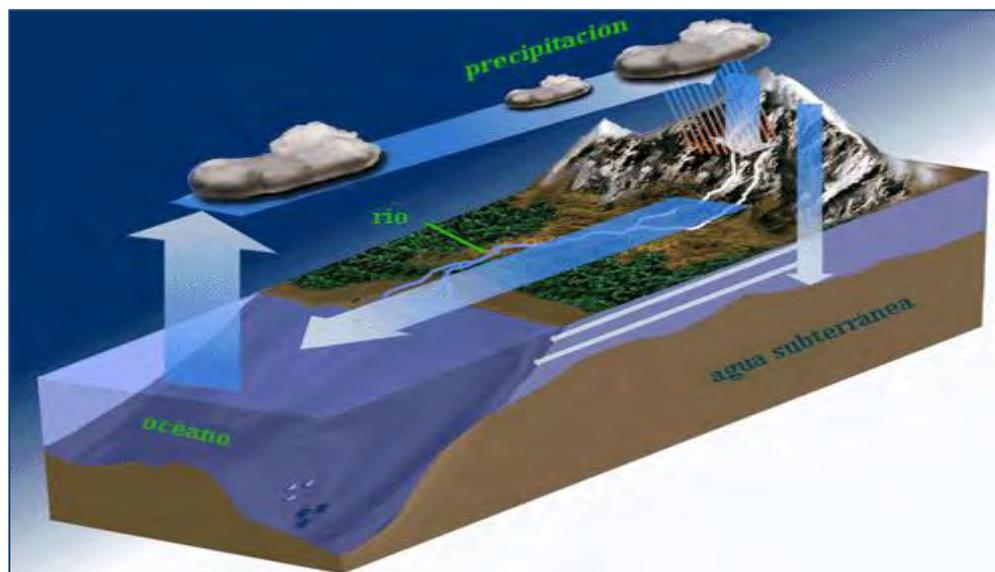


Figura I-3.-Ciclo Hidrológico  
Fuente: [ceipntrasradelapiedad.wordpress.com/2010/08/05/las-aguas-de-andalucia-y-espana](http://ceipntrasradelapiedad.wordpress.com/2010/08/05/las-aguas-de-andalucia-y-espana)

---

---

En el Distrito Federal se tiene anualmente un promedio de 634 mm de agua de lluvia, sobre todo al sur de la capital como lo indica el mapa de precipitaciones de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Este dato es clave para el tema ya que el agua de las precipitaciones anuales y el deshielo del Ajusco alimenta el manto acuífero que provee las filtraciones y es quien permite que exista un flujo constante que será la energía mecánica que moverá la turbina hidráulica.

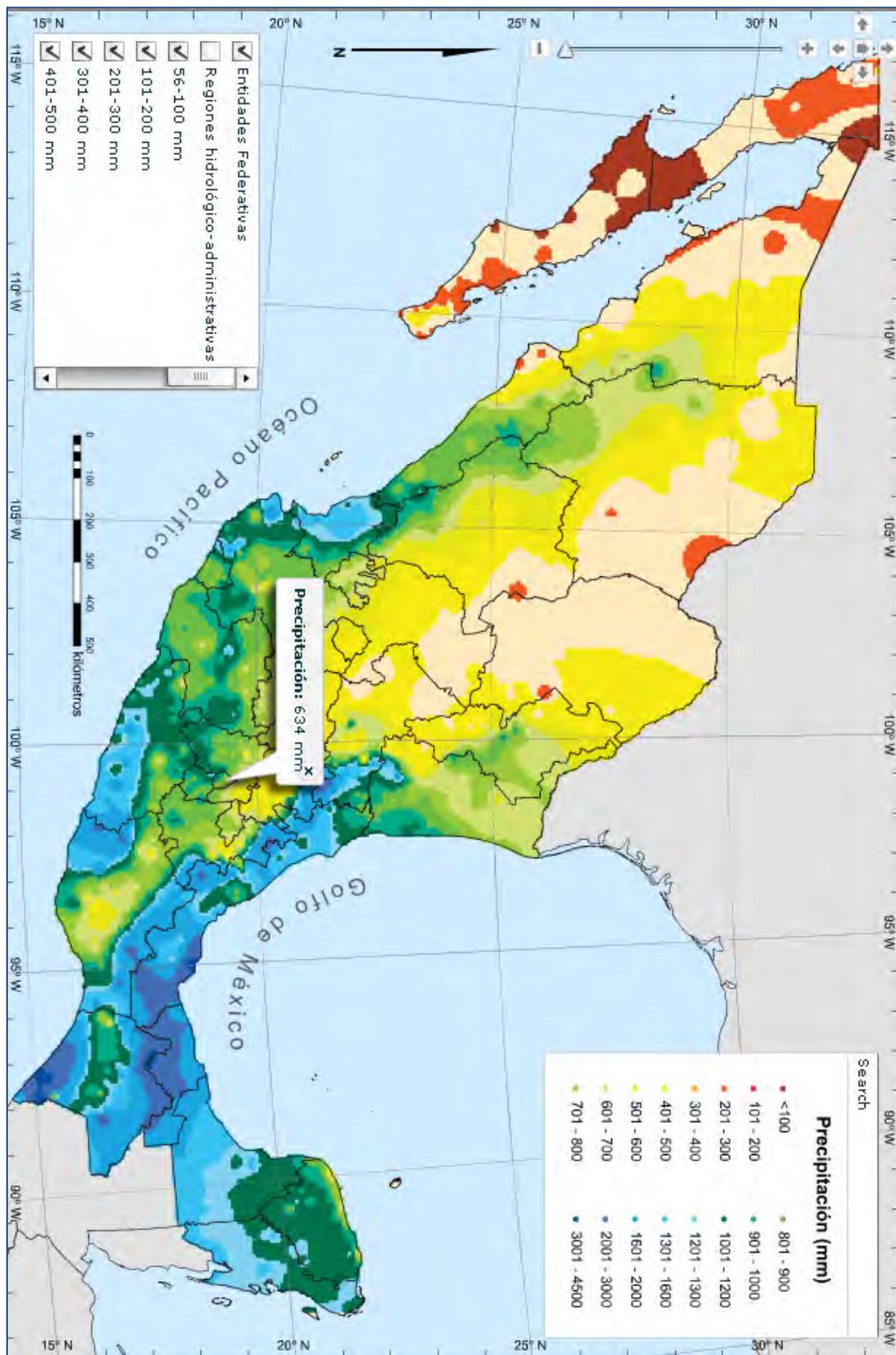


Figura I-4.- Nivel de precipitación en México

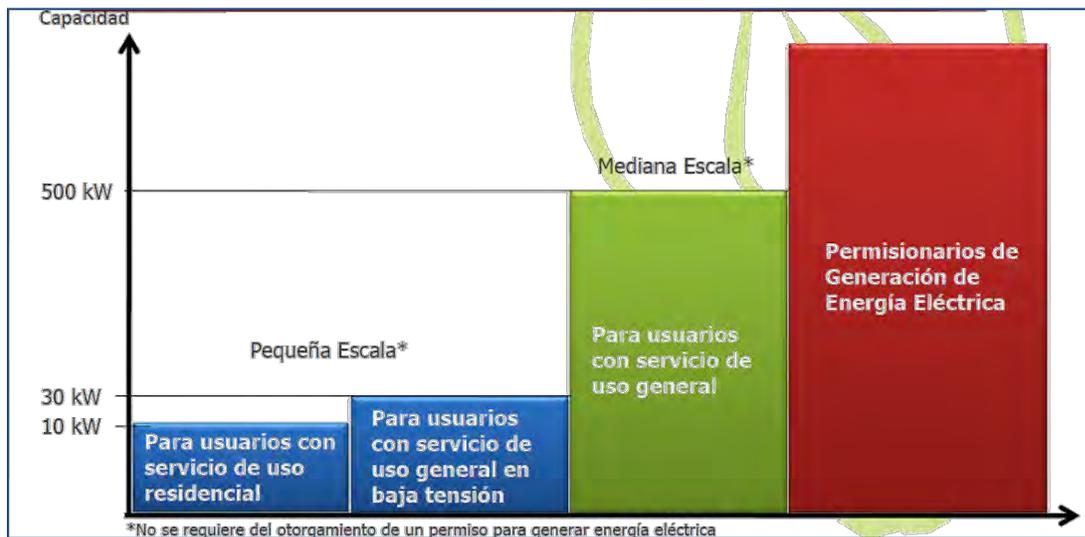
Fuente: [www.conagua.gob.mx/atlas/atlas.html?seccion=0&mapa=8#](http://www.conagua.gob.mx/atlas/atlas.html?seccion=0&mapa=8#), 15 octubre, (2011)

---

### 1.3.- GENERACIÓN ELÉCTRICA EN PEQUEÑA ESCALA

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, 2010) define a la generación eléctrica en pequeña escala como “La producción de electricidad con instalaciones que son lo suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación”, de forma que se puede conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico<sup>3</sup>.

La denominación en pequeña escala tiene un uso específico como lo es en comunidades rurales, para producción propia de la industria y de uso doméstico, así como lo muestra esta escala (gráfica I-2) dada por el Comisión Reguladora de Energía (CRE).



Gráfica I-2.- Escala de servicio para la interconexión por la CRE  
Fuente: Comisión Reguladora de Energía, (2010)

La normatividad para la interconexión de una red de generación en pequeña escala requiere una serie de pasos los cuales la Comisión Reguladora de Energía (CRE) ha definido así:

- Puede ser de uso residencial tendiendo una potencia menor a 10 kW
- Podrá utilizarse en baja tensión en un rango menor a los 30 kW
- Puede ser generada por una persona física o moral

---

<sup>3</sup> Conuee.gob

---

## 1.4.- PROYECTOS EN COMUNIDADES RURALES

Para poder entender porqué los proyectos de energía renovables son viables en las comunidades rurales, hay que saber cuál es la población rural en el mundo y en el país, ya que son ellos los que normalmente tienen deficiencias para poder abastecerse de agua potable, energía eléctrica, servicios médicos, etc. En México existe una población total de 107,029 habitantes, que subdivididos en rurales y urbanos, respectivamente, tenemos 25,658 habitantes rurales y 81,371 habitantes urbanos (INEGI,2010) (Figura I-5), lo que significa que tenemos un 23.97 % de población rural en la cual se pueden implementar proyectos de energía renovable para mejorar en gran medida su estilo de vida, además de cumplir el objetivo principal que es no generar más gases de efecto invernadero y que no impacten nocivamente al entorno ecológico.

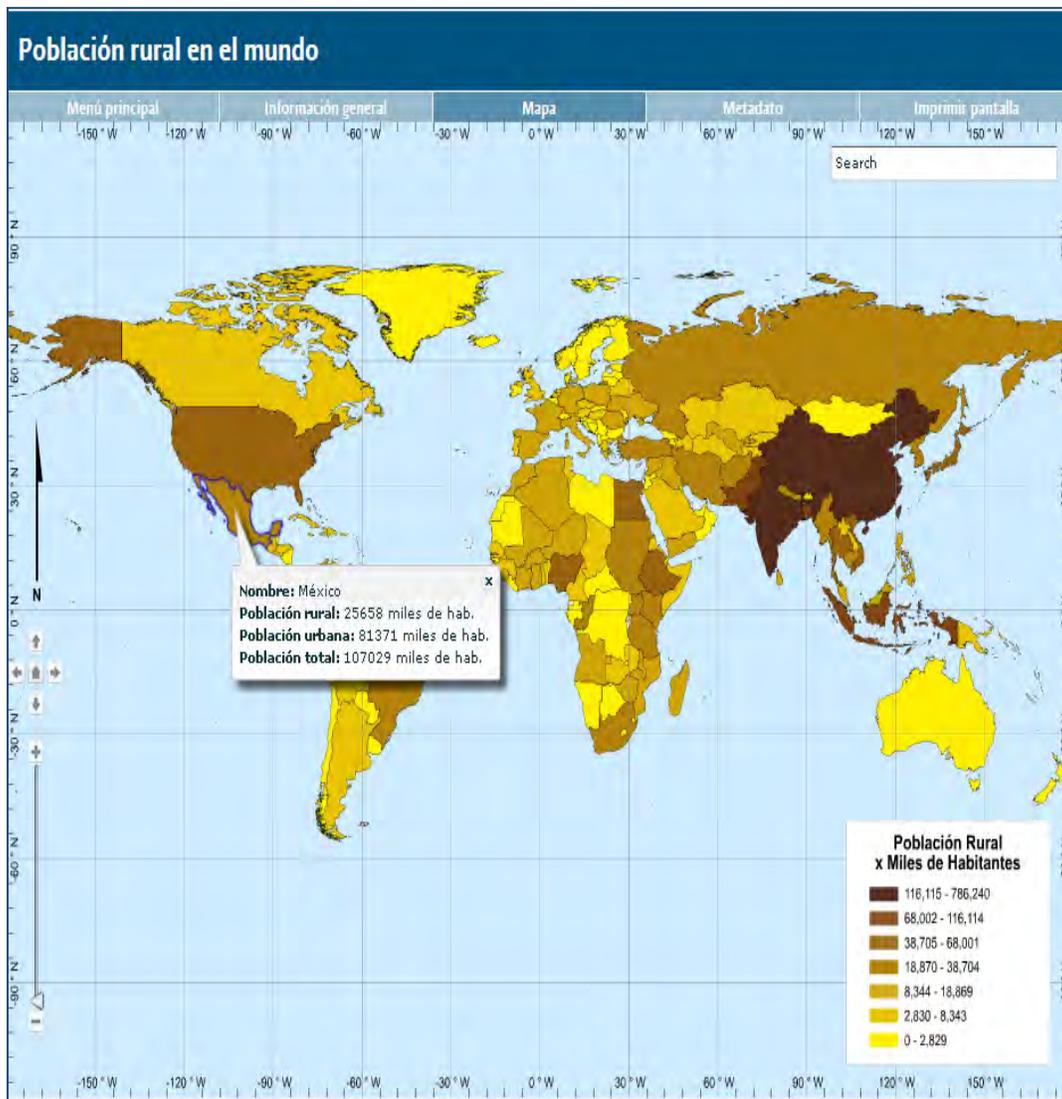


Figura I-5.- Estadística y mapa de la Población Nacional

Fuente: [www.conagua.gob.mx/atlas/atlas.html?seccion=0&mapa=12#](http://www.conagua.gob.mx/atlas/atlas.html?seccion=0&mapa=12#) Consultada 15 octubre 2011

---

---

La justificación de no extender la red eléctrica nacional a comunidades rurales demasiado alejadas, o con pocos habitantes, es que económicamente no es viable, ya que la inversión no estaría justificada y tardaría mucho tiempo en recuperarse. Sin embargo, no podemos dejar de administrar este servicio, por lo tanto tenemos que facilitar el acceso mediante tecnologías adaptables, ecológicas, económicamente viables, eficientes y limpias.

La flexibilidad de las energías Renovables son aceptables para las zonas rurales aisladas, por lo tanto se generan proyectos de aplicación fuera de la Red Eléctrica Nacional, como lo son Biodigestores, Paneles Fotovoltaicos, Gasificadores, Mini-hidráulicas y Micro-Hidráulicas; este tipo de producción está conectado a mini redes y equipos descentralizados.

Normalmente las comunidades rurales aisladas no tienen los medios suficientes para mantener el servicio, por lo tanto es fundamental proporcionar un acceso sostenible a la electricidad, además debemos resaltar que los usuarios deberán hacerse cargo del mantenimiento de la fuente, siendo que, los costos de esta deberán de ser mínimos. Se debe tener claro que el beneficio de una aplicación de energía renovable es para bien de todos, siendo que la comunidad se vea beneficiada económicamente y el medio ambiente lo menos perjudicado.

### **1.5.- EJEMPLOS DE PLANTAS MICRO-HIDRÁULICAS EN MÉXICO**

En México se cuenta con potencial para el aprovechamiento de energía en pequeña escala como lo son las mini, micro y pico hidráulicas.

Por lo que se define a las centrales, en función de su capacidad, la cual no debe rebasar los 30 MW para cumplir con la denominación de pequeña escala y se clasifican de la siguiente forma en México (SENER, 2012) con base en su mayor aceptación en el mundo:

- **Micro hidráulica si la central es menor de  $\leq 100$  kW.**
- Mini hidráulica si la central tiene entre  $100 < \text{kW} < 1000$  kW.
- Pequeña central si la central tiene entre  $1 \leq \text{MW} < 30$  MW

Conociendo la clasificación, ahora podemos conocer la micro y mini hidráulicas existentes en el territorio mexicano donde la mayoría son propiedad de organismos privados y de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Por mencionar algunas que se encuentran operativas tenemos la siguiente Tabla I-1

En México se reconoce la red de mini-hidráulicas y micro-hidráulicas como:

- a) Micro-hidráulicas en operación de CFE
- b) Micro-hidráulicas fuera de operación.

c) Micro-hidráulicas de independientes.

d) Proyectos viables.

NOMBRE DE LA CENTRAL	NÚMERO DE UNIDADES	FECHA DE ENTRADA EN OPERACIÓN	CAPACIDAD EFECTIVA INSTALADA (MW)	UBICACIÓN	TIPO DE OPERACIÓN
Bartolinas	2	20-Nov-40	1	Tacámbaro, Michoacán	A
Electroquímica	1	01-Oct-52	1	Cd. Valles, San Luis Potosí	A
Itzúcaro	2	01-Ene-29	1	Peribán los Reyes, Michoacán	B
Micos	2	01-May-45	1	Cd. Valles, San Luis Potosí	B
Portezuelos II	2	01-Ene-08	1	Atlixco, Puebla	A
Tirio	3	01-Ene-05	1	Morelia, Michoacán	A

Tabla I-1.- Mini y Micro-hidráulicas en México

Fuente: [www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/estadisticas/listadocentralesgeneradoras/Paginas/listadohidroelectricas.asp](http://www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/estadisticas/listadocentralesgeneradoras/Paginas/listadohidroelectricas.asp)

x

Algunas de estas hidráulicas de pequeña generación se encuentran fuera de operación porque el mantenimiento ha rebasado los costos de generación.

Como se ha dicho, la energía micro y mini hidráulica no es algo reciente, desde la antigüedad se ha utilizado, lo que ha cambiado es la forma de manejo de la energía y de cómo mejor se pueda aprovechar sin causar mayores trastornos sociales y ambientales.

---

---

## **CONCLUSIÓN**

La información obtenida durante el capítulo ha servido para dar a conocer el tema y de la vital importancia que tiene un desarrollo renovable en una comunidad rural, de cómo lo trata y define el gobierno mexicano y de la forma en que se ha regulado.

Desde hace varias décadas, el hombre se percató de la necesidad de producir energía limpia, eficiente y económica, preocupación que ha ido incrementando con el paso de los años hasta llegar a nuestros días, con todas estas ideas de desarrollos renovables y sustentables que impactan a nivel económico, social y cultural, que nos lleva a buscar mejores alternativas o busca reinventar las ya existentes.

Los órganos regulatorios en un país como México dan cabida a proyectos renovables de pequeña escala como alternativa de generación e interconexión a la red eléctrica, para uso doméstico incluso de manera industrial. Por último se planteó la idea y forma de cómo mitigar en pequeñas proporciones el cambio climático, además que de ser posible la interconexión a la red eléctrica se plantea tener un financiamiento por medio de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL).

---

---

Capítulo II    ENERGÍA HIDRÁULICA

Dime y lo olvido, enséñame y lo recuerdo,  
involúcrame y lo aprendo<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Franklin, Benjamín

---

---

## **INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se da una introducción a los conceptos y principios fundamentales en materia de energía hidráulica y sobre todo para conocer más sobre sus características geográficas, topográficas, maquinaria, obra civil, social, gubernamental, legal y ambiental. Para el sustento de un buen proyecto conforme a las leyes, parámetros y normas en México.

### **2.1.- ENERGÍA MICRO-HIDRÁULICA**

Un hidro-sistema requiere de un caudal de agua y una diferencia de altura (conocida como “Salto”) para producir una diferencia de potencial. Los hechos vistos físicamente son sencillos ya que es un sistema de conversión de energía, es decir, se aprovecha de forma natural un caudal o salto y pasa a ser energía eléctrica o mecánica.

Se considera a los sistemas de micro-generación, como sistemas de auto abasto industrial o para redes rurales, donde no llega la Red Nacional. El rango de potencia que varía desde los 200 Watts a un aproximado de 300 kW es suficiente para la iluminación doméstica, abasto de pequeños talleres industriales o bien una mini-red independiente a la Red Nacional.

En algunos casos los sistemas de micro-generación no generan electricidad sino fuerza motriz o mecánica que es utilizada para mover molinos conectados directamente a la turbina. Estos sistemas son un excelente apoyo a la Red Nacional porque pueden ser colocados donde ésta no llega, de tal forma que es factible porque reduce costos de instalación, obra civil, extensión de línea de transmisión, además de que puede generar o aumentar la calidad de vida de los residentes aledaños o beneficiados por una micro-hidráulica. Estos sistemas no tienen la necesidad de ser administrados por personal especializado, al contrario la gente local puede hacerse cargo de la central sin problema alguno.

No existe un consenso, en la definición de pequeña central hidroeléctrica. Se consideran como pequeñas plantas hidroeléctricas (PPH) las que se encuentran en un rango de potencia menor a los 10 MW por unidad. Así en este rango se pueden ubicar las pequeñas centrales (1 MW a 10 MW), las mini-centrales (100 kW a 1 MW), las micro-centrales (10 kW a 100 kW), las nano-centrales (1 kW a 10 kW) y las pico-centrales (100W a 1 kW).

### **2.2.- CLASIFICACIÓN DE PLANTAS HIDRÁULICAS**

Los sistemas de micro hidro-generación pueden ser construidos y diseñados por personal local o pequeñas organizaciones sin la necesidad de ser tan estrictos en su conformación, aunque existen diferentes formas de clasificarlas, solo mencionaremos las 3 más relevantes, ya sea por su obra civil, cause o caída.

---

1.- Por la sencillez de las obras existen 2 clasificaciones básicas

*a. Sistemas de Derivación*

Este sistema se conoce como al **hilo de agua**, ya que no detiene el cauce del río en ningún momento, solo desvía una parte del caudal a un canal, a una tubería y después a una turbina como lo muestra la Figura II.1.

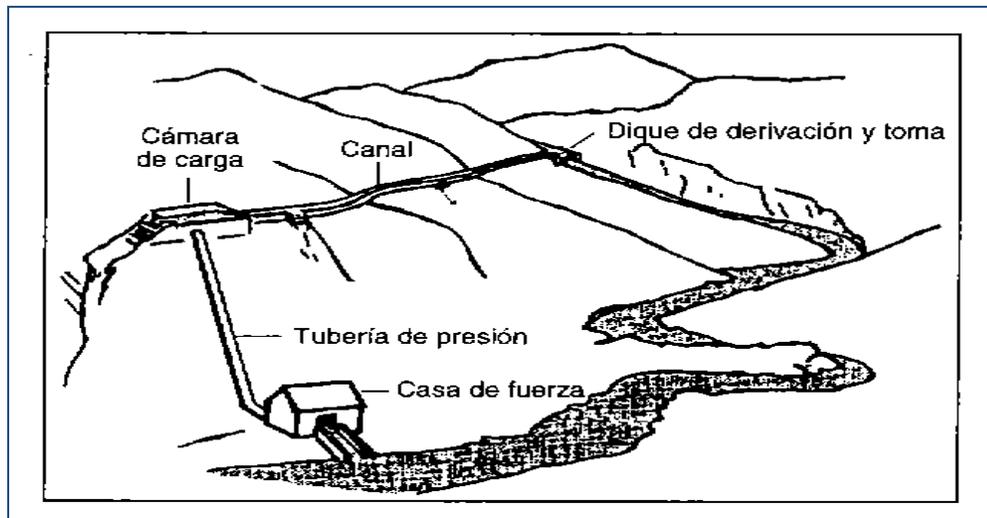


Figura II-1.-Ejemplo de un sistema de Derivación

Fuente: Coz Et. Al, (1996) Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas una Guía para el Desarrollo de Proyectos

Este es el sistema más común de una micro hidroeléctrica, ya que es el que menos impacta el medio además de ser el más bajo en costo.

La desventaja es que este tipo de central no puede almacenar agua en época de sequía.

*b. Sistemas de Embalse*

Este sistema se caracteriza por tener un dique para detener el caudal del río y poder almacenar agua durante algún tiempo, fluyendo ésta cuando es necesaria para generar energía.

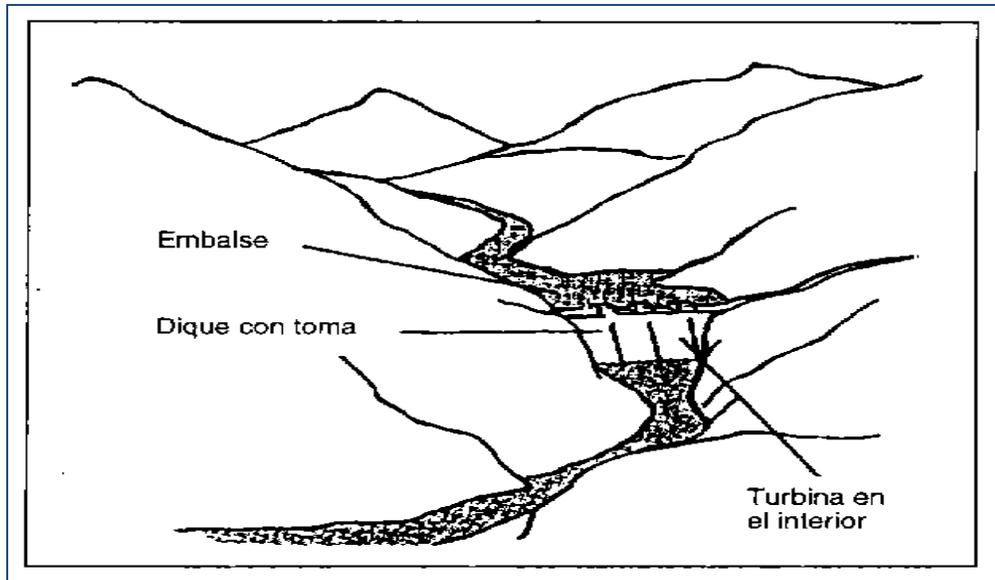


Figura II-2.-Ejemplo de un sistema de embalse

Fuente: Coz Et Al, (1996) Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas una Guía para el Desarrollo de Proyectos

La ventaja de este dique es que puede reservar agua en época de sequía, pero sus desventajas son más, ya que el costo de la construcción del dique es muy alto, además se debe reservar un área donde se pueda almacenar el agua, lo que implica un alto costo medio ambiental.

Por lo general este tipo de centrales solo se utilizan para grandes generaciones en el rango de Mega Watts, para que el costo sea rentable con respecto a la generación.

2.- Continuando con la forma de clasificación, también es posible clasificar con respecto a la altura del salto de las centrales hidroeléctricas como se indica a continuación:

- De alta caída: salto de más de 150 m.
- De media caída: salto entre 50 y 150 m.
- De baja caída: salto entre 2 y 20 m.

3.- Otra clasificación en función del tipo de central es:

A. Centrales a pie de presa con regulación propia.

La existencia de un embalse regulador permite independizar, dentro de ciertos límites, la producción de electricidad del caudal natural del río que lo alimenta.

Un pequeño aprovechamiento hidroeléctrico es raramente compatible con un gran embalse, dado el elevado costo de la presa y sus instalaciones anexas.

La central suele situarse a pie de presa, alimentada por un conducto existente en el fondo o por un sifón en caso de que no existiese ninguna toma de agua prevista. En este último

caso, la tubería forzada pasa sobre el borde superior de la presa sin apenas afectar a su estructura. La turbina puede estar ubicada en el tramo ascendente del sifón, en la coronación de la presa o en el tramo descendente. El salto será equivalente en cualquier caso a la altura de la presa. El salto no suele superar los 10 m (aunque existen ejemplos de tomas de agua por sifón de hasta 30.5 m) y el caudal circulante puede oscilar entre menos de 1 m<sup>3</sup>/s y 70 m<sup>3</sup>/s (Coz Et al, 1996).

B. Centrales en canal de riego o tubería de abastecimiento de agua.

Es factible instalar una central hidroeléctrica aprovechando el caudal de agua en un canal de irrigación, ya sea ensanchando el canal, para poder instalar en él la toma de agua, la central y el canal de fuga, o construir una toma lateral, que alimente una tubería forzada instalada a lo largo del canal.

También entre esta clasificación existen sub-clasificaciones, que son modificaciones que se hacen por la geografía del terreno que solo ilustraremos en la siguiente Figura II-3.

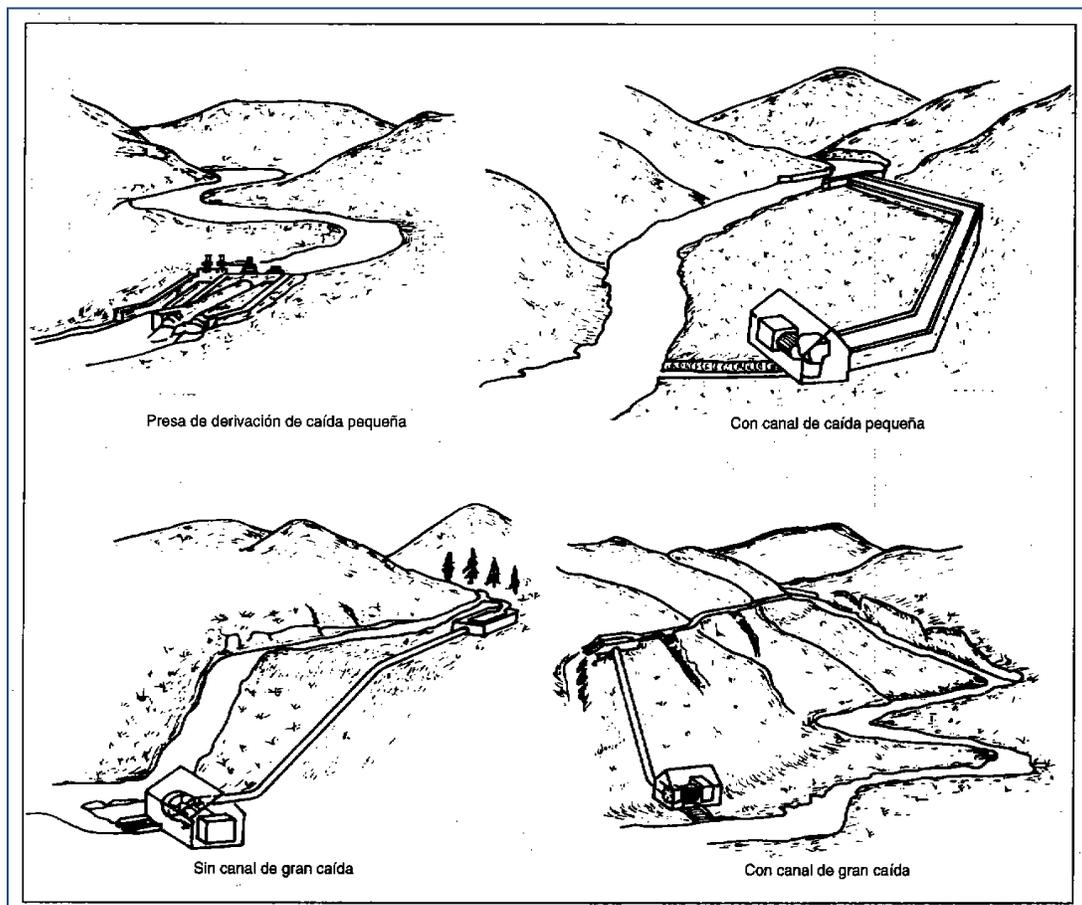


Figura II-3.-Sub-clasificaciones de canales según su geografía

Fuente: Coz Et al. , (1996), Manual de Mini y Micro centrales Hidráulicas una Guía para el Desarrollo de Proyectos

---

---

### 2.3.- ASPECTOS DE LA OBRA CIVIL Y ELECTROMECAÑICOS

En una central hidroeléctrica se transforma la energía potencial del agua en energía mecánica con una turbina hidráulica, y luego en energía eléctrica, a través de un generador.

En la Figura II-4 se muestra el esquema de una micro-central típica con todos sus elementos, se debe notar que este tipo de centrales del tipo mini generación tiende a cambiar en el sentido de agregar o quitar elementos conforme a las necesidades geográficas del terreno y el aumento de potencia de la central, por lo tanto dividiremos en dos a la obra civil:

- Rutas de Abastecimiento
- Electromecánicos

A continuación se describen las obras conocidas como *Ruta de Abastecimiento*:

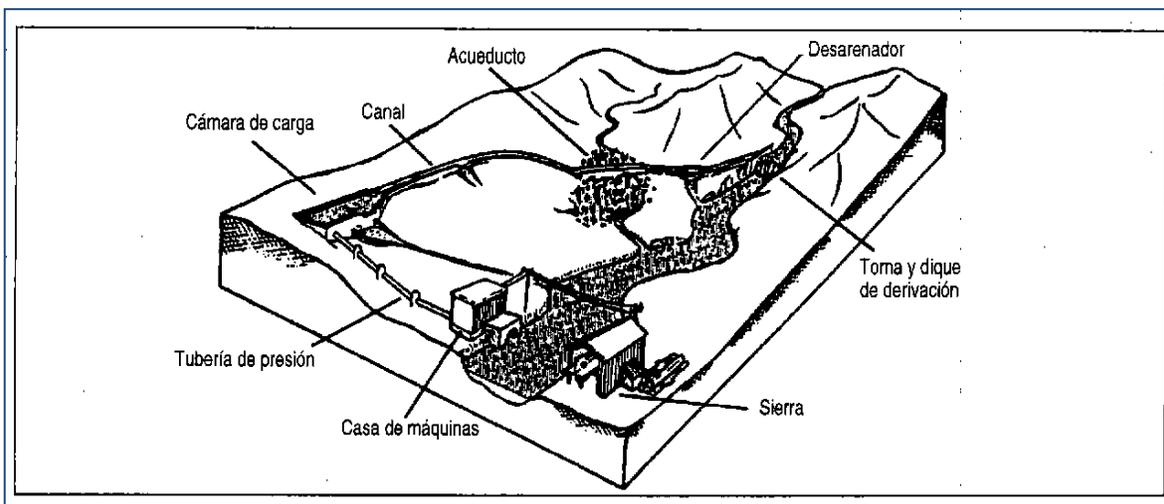


Figura II-4.-Ejemplo de rutas de abastecimiento Fuente: Coz Et al, (1996), Manual de Mini y Micro centrales Hidráulicas una guía para el desarrollo de proyectos

#### a) Obras de derivación

Esta obra está ubicada aguas arriba y se le considera como un tipo de represa pequeña que se coloca en forma transversal al cauce del río con el fin de producir un remanso que facilite la derivación del agua.

También se considera como una desviación para asegurar el ingreso de una buena parte del caudal, ya que lo interseca para asegurar el ingreso de agua hacia la bocatoma sobre todo en época de sequía (Coz Et al, 1996).

---

---

## b) Obras de bocatoma

La bocatoma es considerada un elemento de control del flujo de agua, ya que se encarga de introducir y controlar el ingreso de agua al canal, el cual incluye una compuerta de toma y una compuerta de lavado. Estas compuertas no siempre son necesarias ya que depende mucho del tipo de caudal, cabe destacar que el diseño de la bocatoma es muy flexible ya que puede ser construido con madera, piedras y barro o en dado caso concreto.

Su ubicación debe ser en el tramo más recto o estable del río, no se recomienda poner la bocatoma en una curva del río porque es la parte en donde se almacena más sedimento.

## c) Obras de conducción

- Desarenador: se utiliza para eliminar arena y sedimentos de la corriente en el canal, para evitar el ingreso de arenillas que ingrese a la tubería de presión y turbina.
- Canal: es una estructura utilizada con el fin de conducir el agua a una distancia relativamente grande desde la bocatoma hasta la entrada de la tubería de presión. Existen dos tipos: canal abierto o tubería cerrada.



Figura II-5.- Ejemplo de un Desarenador  
Fuente: Ramírez et al, (2004), Micro Central hidroeléctrica una alternativa para el desarrollo rural.

- Cámara de carga: asegura la acumulación de agua antes de ingresar a la tubería de presión que nunca esté vacía y que no ingrese aire, además puede servir como acumulador de agua en dado caso que exista una obstrucción en el canal.
- Tubería de presión: es la tubería que conduce el agua a presión hasta la turbina

## d) Aliviaderos

Este elemento se considera como precaución, ya que evita los excesos de corriente, puede ser necesario usar aliviaderos en la bocatoma, canal, cámara de carga y desfogue de la turbina para que los excesos de agua sean retirados del sistema y debidamente conducidos hacia un cauce estable. Aunque su diseño es muy simple, debe tenerse mucho cuidado con su ubicación y correcto funcionamiento, ya que su mala ubicación puede afectar el terreno y puede perturbar la obra civil. (Coz Et al, 1996)

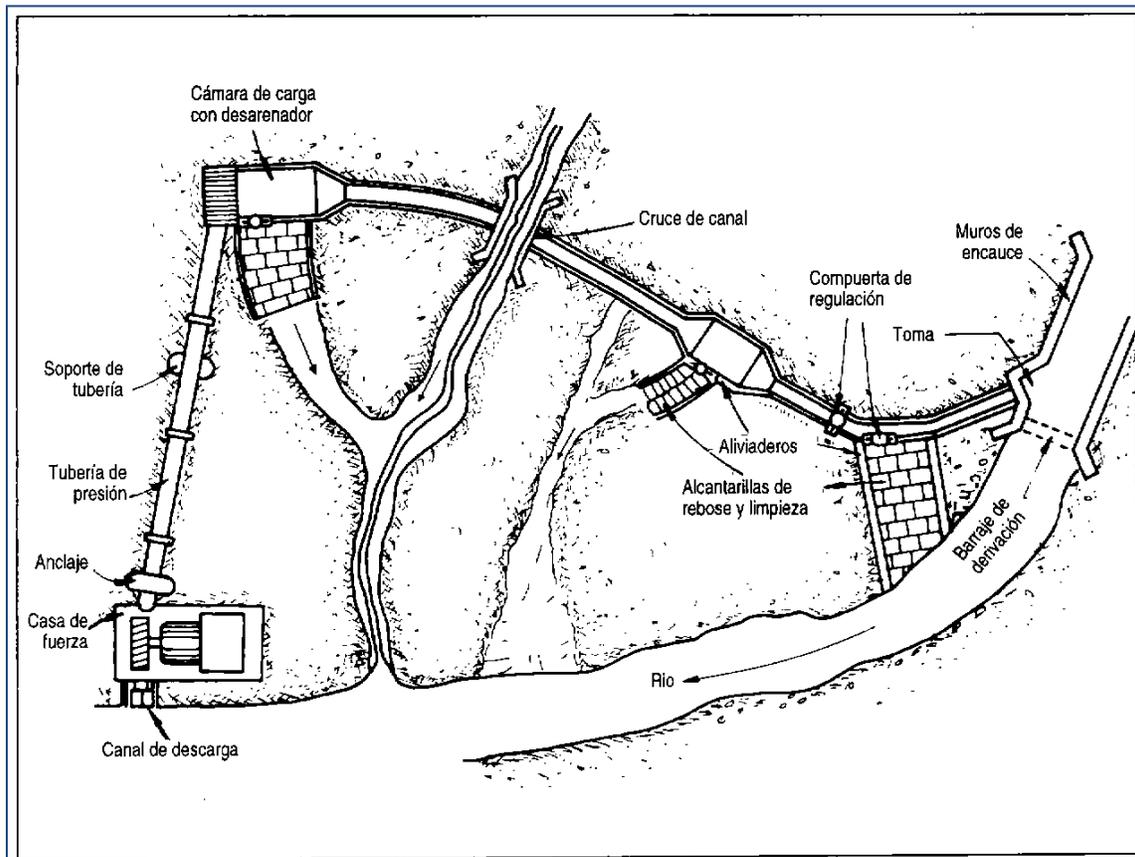


Figura II-6.-Ejemplo de una ruta de abastecimiento modificada

Fuente: Coz Et al, (1996), Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas una Guía para el Desarrollo de Proyectos

## 2.4.-ELEMENTOS ELECTROMECÁNICOS DE LA OBRA CIVIL

### A. Sala de máquinas

- *Turbina*: es el elemento encargado de transformar en energía mecánica la energía contenida en el agua. Existen diferentes tipos de turbina según la relación de caída y agua. Entre ellas se encuentran turbinas tipo Francis, Pelton, Kaplan, Turgo, Banki, etc.

- *Generador o Alternador*: se encarga de convertir la energía mecánica recibida de la turbina a través de un eje, en energía eléctrica. La potencia de los generadores tiene que estar acorde con el de la turbina.



Figura II-7.- Generador de inducción

Fuente: [www.kailidamotor.com](http://www.kailidamotor.com)

---

Para proyectos de nano- y micro-hidro generación generalmente se usan alternadores, que generan electricidad a corriente directa (CD), a 12 o 24 volts.



En proyectos más grandes, los generadores producen electricidad a corriente alterna (CA) a voltajes mayores.

**Figura II-8.- Generador Síncrono**  
Fuente: [sp.hwn-motor.com](http://sp.hwn-motor.com)

- *Transformador o Inversor*: se utiliza para elevar el voltaje de la corriente generada. En muchos casos se puede prescindir del transformador, pero si se debe transportar la corriente a grandes distancias y el generador trabaja a bajo voltaje, es necesario utilizar un banco de transformadores. En proyectos de nano- y micro- hidro, se puede aplicar un inversor el cual tiene la función de convertir la electricidad de corriente directa a bajos voltajes, generada por el alternador a corriente alterna mayor (por ejemplo, de 12 V a 110 V) (Comisión Europea, 1998).

#### **b. Líneas de transmisión:**

Se encargan de conducir la corriente eléctrica a los sitios donde se necesita la energía eléctrica (puntos de consumo). Para proyectos no conectados a la red incluye las líneas de distribución.

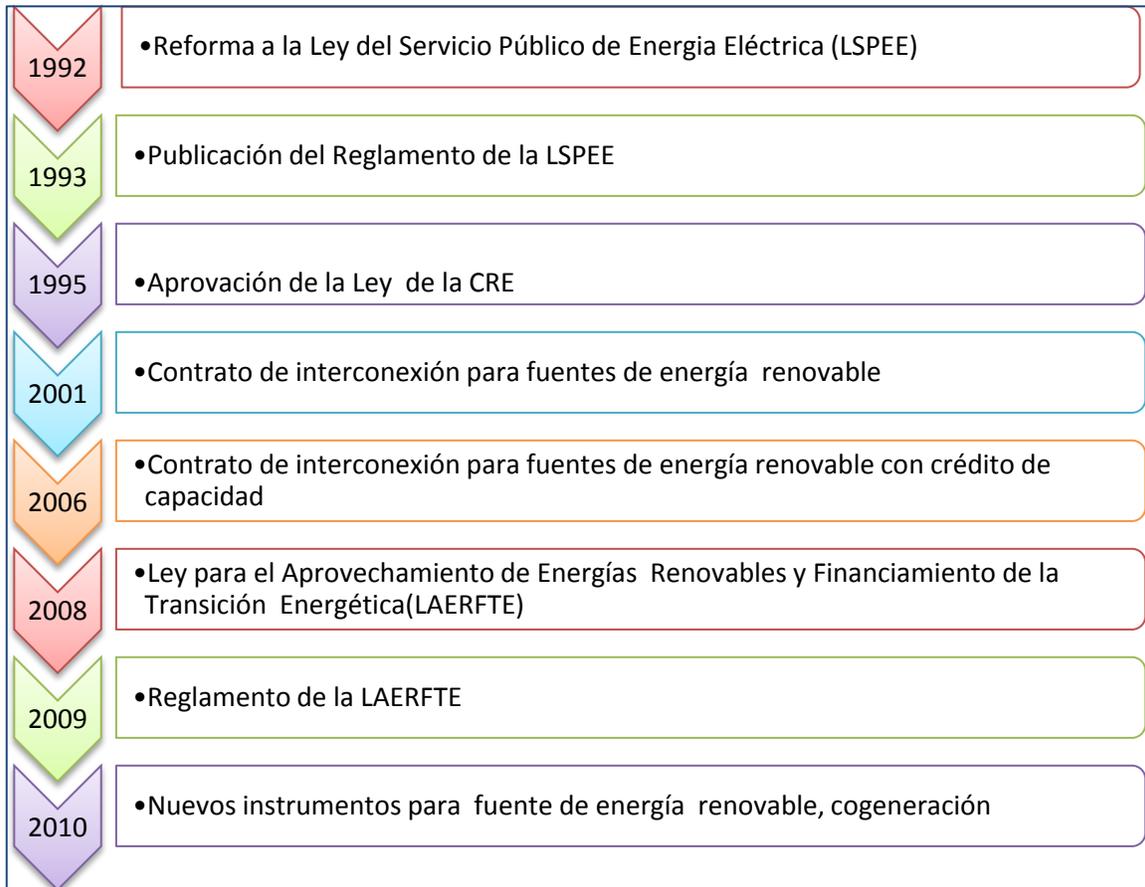
#### **c. Líneas de distribución:**

Se encargan de repartir la electricidad hasta los puntos finales de utilización, pueden ser líneas aéreas o subterráneas.

---

## 2.5.- ASPECTOS LEGALES Y AMBIENTALES

En las últimas décadas los marcos regulatorios y el gobierno han incrementado el interés por mantener leyes, reformas y contratos para el desarrollo de energías renovables el siguiente cuadro pretende ilustrar concretamente cómo ha evolucionado los reglamentos y contratos.



**Tabla II-1.-Evolución legal de la Energías Renovables en México.  
Fuente: Comisión Reguladora de Energía, CRE, 2010**

La mayoría de estos reglamentos proponen mejoras y pretende establecer condiciones que beneficien de manera clara y confiable al país; algunos de estos beneficios son el desarrollo tecnológico, apoyo a electrificación rural, además incentivan a promover la generación por medio de energías renovables, pero sobre todo los alicientes de Fideicomiso que buscan revertir el proceso de la disminución en la participación de fuentes renovables de energía en México.

---

## Instrumentos regulatorios

A la Comisión Reguladora de Energía (CRE), en el 2010 se le otorgaron las facultades necesarias para generar instrumentos regulatorios en materia de energías renovables, como se muestra en el siguiente cuadro, Figura II-9.

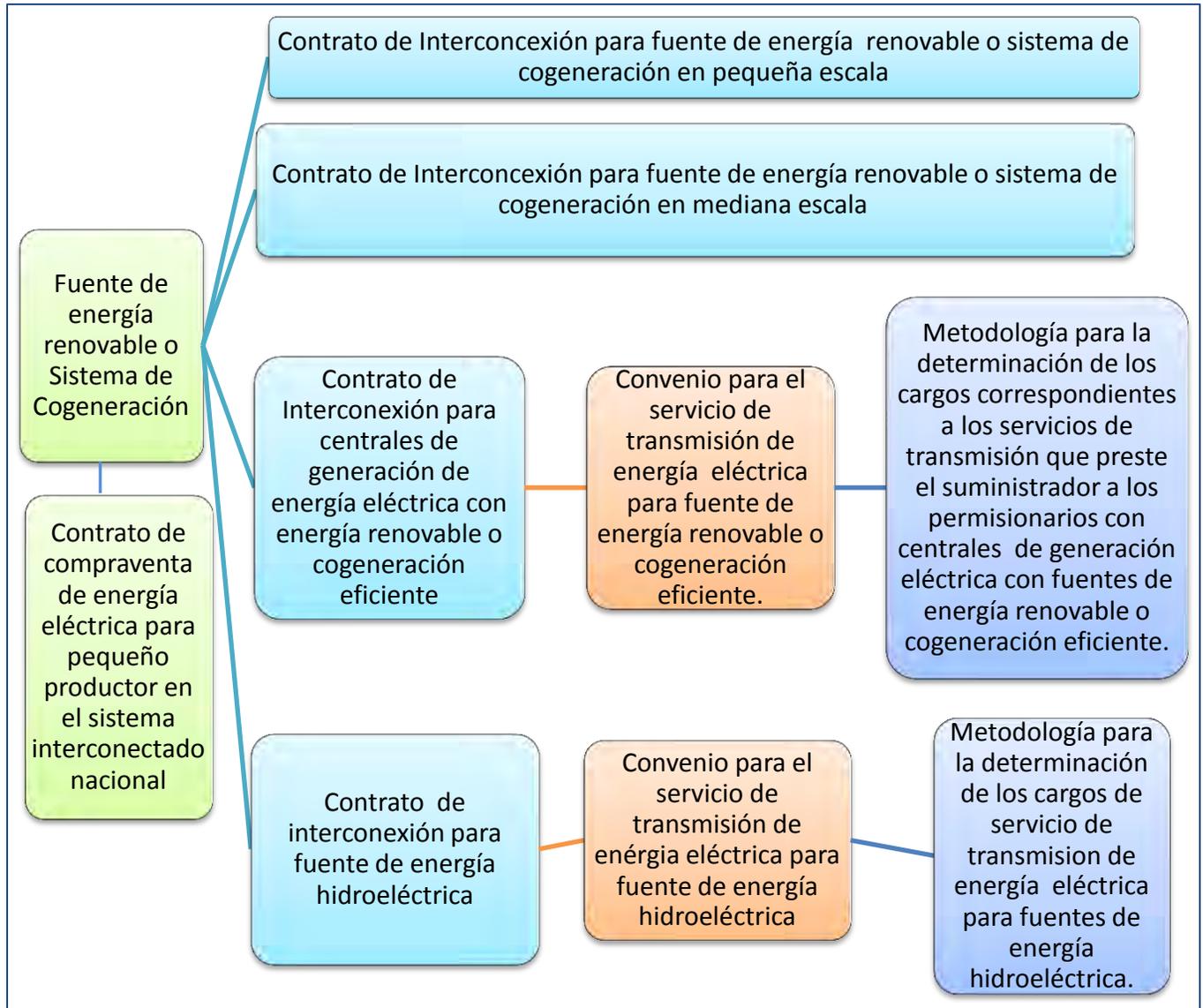
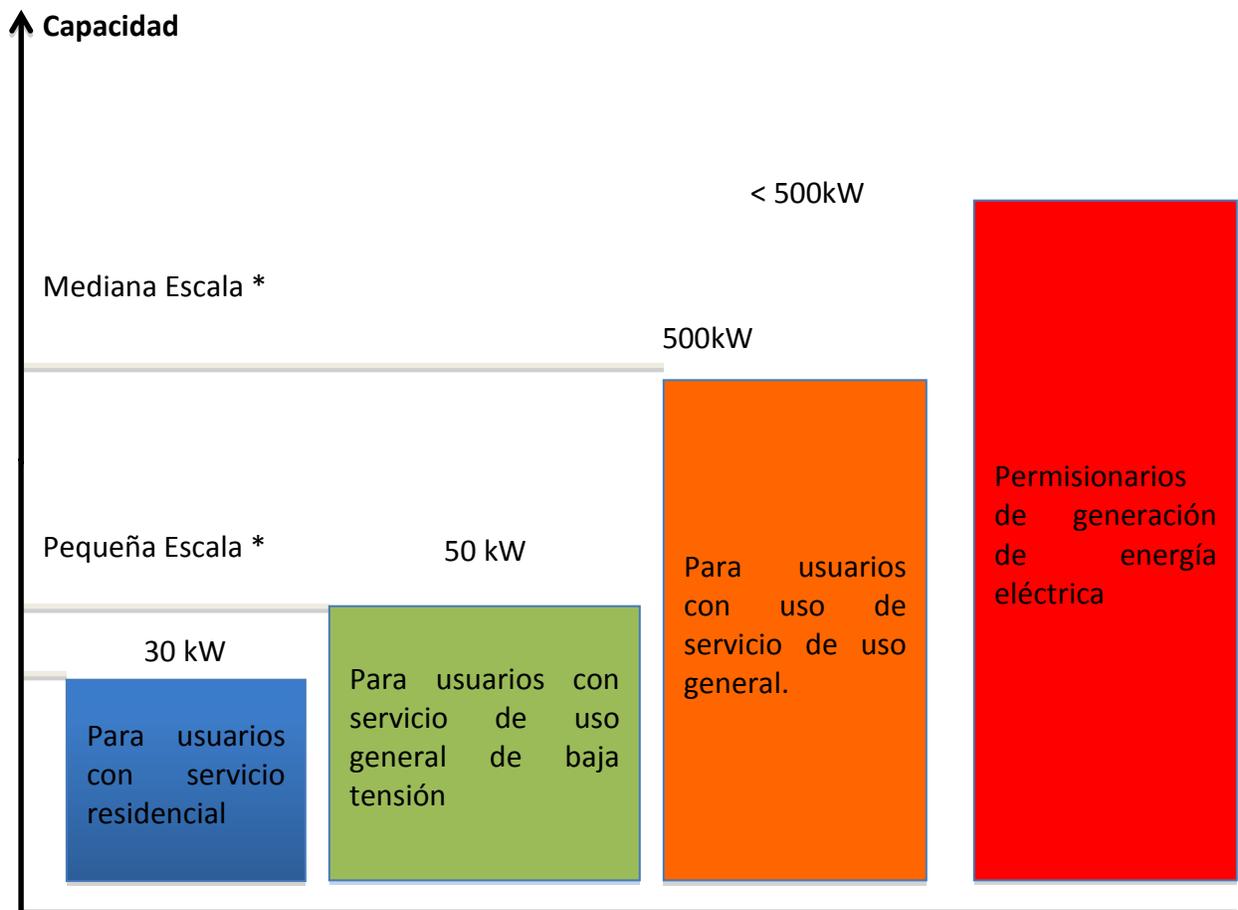


Figura II-9.- Instrumentos Regulatorios CRE.  
Fuente: Comisión Reguladora de energía, 2010

A fin de poder generar nuestra propia energía eléctrica se requiere de permisos otorgados por la CRE, pero en algunos casos donde la producción no rebaza cierto límite de kW, no se requerirá de un permiso, como a continuación se denota en la Gráfica II-1



Gráfica II-1.- Escala para contratos de interconexión  
Fuente: Comisión Reguladora de Energía, (2010)

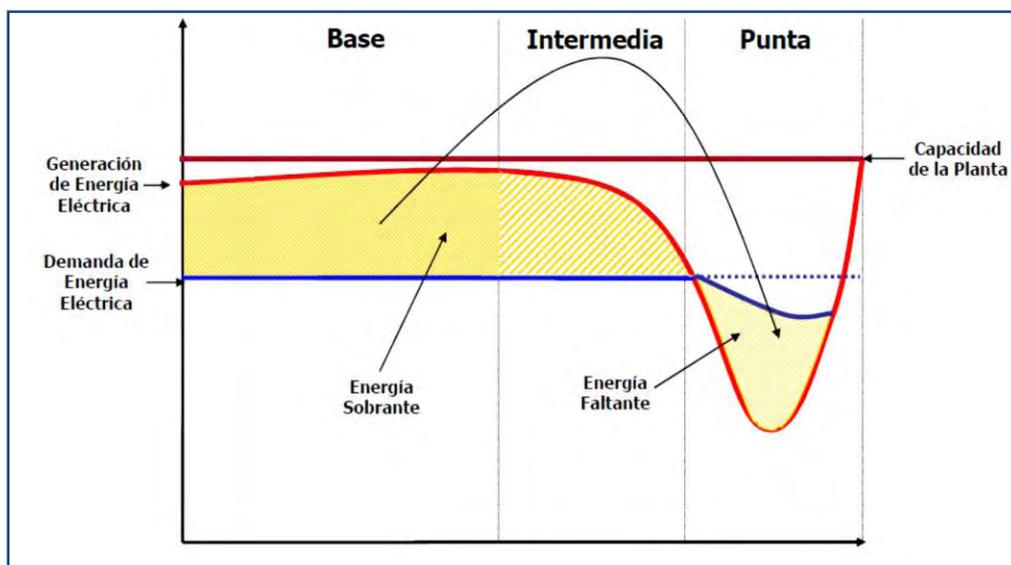
Como mencionamos anteriormente, la CRE generó los siguientes modelos de contratos que fueron dados a conocer el 8 de abril del 2010 y el 28 de abril del 2010 en el Diario Oficial (DOF), para el uso y la interconexión de una fuente de energía renovable y cogeneración.

❖ **Contrato para la interconexión para fuentes de energía renovable y sistemas de cogeneración en pequeña escala.**

- Aplicable a personas físicas o morales.
- Generadores con fuente de energía renovable y cogeneración en pequeña escala.
- Para usuarios con servicio de uso residencial de hasta 10 kW.
- Para usuarios con servicio de uso general en baja tensión hasta 30 kW.
- No requiere portear energía a sus cargas.
- Vigencia del contrato indefinida.

- 
- 
- No se requiere permiso de generación de energía eléctrica, toda vez que es un contrato anexo al de suministro normal.
  - Interconexión a la red en tensiones menores de 1 kV.
  - Las inversiones necesarias para la construcción de las instalaciones o equipos que técnicamente sean necesarios, serán a cargo del Generador.
  - El Generador pagará la diferencia entre el costo del equipo necesario para realizar la medición neta y el costo del equipo convencional que instalaría el Suministrador para la entrega de energía eléctrica que corresponda.
  - El Generador se obliga a mantener vigente un contrato de suministro de energía eléctrica en la tarifa aplicable durante todo el tiempo que dure la interconexión de su fuente con la red del Suministrador.
- ❖ **Contrato para la interconexión para fuentes de energía renovable y sistemas de cogeneración en mediana escala**
- Aplicable para personas físicas o morales.
  - Generadores con fuente de energía renovable o sistemas de cogeneración conectados en media tensión.
  - Para usuarios con servicio de hasta 50 kW.
  - No requiere portear energía a sus cargas.
  - Vigencia del contrato indefinida.
  - No se requiere permiso de generación de energía eléctrica, toda vez que es un contrato anexo al de suministro normal.
  - Interconexión a la red en tensiones menores de 69 kV.
  - El Generador podrá satisfacer su demanda eléctrica de forma parcial o total.
  - En caso de que la fuente de energía no satisfaga el total de la demanda eléctrica, ésta será suministrada por Comisión Federal de Electricidad.
  - Si la fuente de energía genera más energía que la demandada por su centro de consumo, ésta podrá ser incorporada a la red eléctrica y será compensada hasta por un periodo de 12 meses.
- 
-

- De no efectuarse la compensación en ese periodo, el crédito será cancelado y el Generador renuncia a cualquier pago por este concepto.
  - La compensación se realizará de acuerdo al precio de la energía en la tarifa que se generó vs el precio cuando se consumió, y podrá compensarse entre los mismos o diferentes períodos horarios.
- ❖ **Contrato de interconexión para centrales de generación eléctrica con energía renovable o cogeneración eficiente.**
- Aplica para personas físicas o morales.
  - Se requiere permiso de generación en la modalidad de autoabastecimiento cogeneración.
  - Será a cargo del permisionario cualquier modificación que sea necesaria realizar a las instalaciones existentes para lograr la interconexión.
  - Cuando exista energía sobrante del Permisionario, ésta podrá ser vendida al Suministrador en el mes en que se generó (85 % CTCP) o acumulada para su venta en meses posteriores.
  - Si el Permisionario no informa al Suministrador de su deseo de venderla energía sobrante, se entenderá que el Permisionario ha elegido acumular la energía para su venta o compensación en meses posteriores (tendrá un periodo de 12 meses para su almacenamiento en “el banco”).



Gráfica II-2.- Funcionamiento del Banco de energía.  
Fuente: Comisión Reguladora de Energía, CRE (2010)

---

---

❖ **Contrato de interconexión para fuente de energía hidroeléctrica**

- Simula los flujos eléctricos para cuantificar los efectos que un nuevo proyecto tiene en el Sistema Eléctrico, determinando el requerimiento de infraestructura.
- Tiene como propósito incentivar la generación donde más se requiere (no es adecuada para renovables y cogeneración).
- Cargo por Servicios de Transmisión a tensiones mayores o iguales a 69 kV es igual a la suma de:
  - ✓ Costo fijo por el uso de la Red
  - ✓ Costo variable por el uso de la Red, y
  - ✓ Costo fijo por administración del Convenio
- Cargo por Servicios de Transmisión a tensiones menores a 69 kV dependerá del nivel de tensión en que el Suministrador entregue la energía.
- El cargo por el Servicio de Transmisión será igual a la suma de:
  - ✓ Costo por el uso de la Red.
  - ✓ Costo fijo por la administración del Convenio.
  - ✓ El costo del estudio requerido para analizar una Solicitud de transmisión será cubierto por el solicitante del Servicio de Transmisión.

❖ **Contrato de Compromiso de Compraventa de Energía Eléctrica para Pequeño Productor en el Sistema Interconectado Nacional.**

Aplicación:

- Aplicable para Permisionarios de generación de energía eléctrica en la modalidad de Pequeño Productor.
- Capacidad instalada menor a 30 MW.
- Permisionarios que se encuentran ubicados en el Sistema Interconectado Nacional.
- La vigencia del Contrato es a 20 años, renovables.
- La totalidad de la energía generada es adquirida por el Suministrador (CFE).

- 
- 
- La energía eléctrica generada es comprada por el Suministrador hasta el 98% del Costo Total de Corto Plazo (CTCP).

Las siguientes leyes emitidas convergen en el Permisionario de la manera que permita desarrollar el aprovechamiento de la energías renovables, así se cumple con uno de los objetivos de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética; que permite promover la eficiencia y sustentabilidad energética, así como la reducción de la dependencia de hidrocarburos como fuente primaria de energía, establecido en el artículo 22° de la misma, el 28 de diciembre de 2008.

También se debe destacar que el proyecto no se verá afectado por la Regulación para el Aprovechamiento de Aguas Nacionales, que dicta en la reforma del artículo 120° (DOF, 24/05/2011), que no se requerirá de concesión para la explotación uso o aprovechamiento del agua en los términos del artículo 8° de la ley , cuando sea para generación de energía hidroeléctrica en pequeña escala, entendida como tal, aquella que realizan personas físicas o morales aprovechando las corrientes de ríos y canales sin desviar las aguas ni afectar su cantidad ni calidad, y cuya capacidad de generación no exceda de 30 MW (SENER, 2012). Esta ley es un punto a favor para el proyecto ya que el uso del agua no generará un costo adicional.

Además en línea con los fundamentos de la “Ley del Servicio Público de Energía eléctrica” (Anexo E), la cual emite las condiciones señaladas para los permisos de autoabastecimiento, de cogeneración, de producción independiente, de pequeña producción de importación o exportación de energía eléctrica; en nuestro caso se realizará énfasis en los servicios como productor independiente, de pequeña producción o autoabastecimiento, ya que la energía que proporcionará el proyecto de los Apapaxtles, podría usar alguna de estas tres propuestas; las cuales se analizarán posteriormente para el mejor aprovechamiento de este servicio, esperando que la comunidad sea la beneficiada .

## **2.6.- DESARROLLO DE LA CENTRAL**

En estos sistemas de generación a pequeña escala se caracterizan por no seguir un diseño en específico ya que sus elementos dependen de la capacidad y necesidad de generación o del uso mecánico de que tengan, así que en micro y nano generación, pueden ser eliminados algunos elementos mecánicos y eléctricos.

Elementos de la micro - hidroeléctrica de los Apapaxtles

---

---

- 
1. Obra de derivación
  2. Bocatoma
  3. Cámara de carga
  4. Aliviadero
  5. Canal
  6. Tubería de presión
  7. Turbina
  8. Generador
  9. Línea de interconexión a la red Nacional

Por lo tanto cada punto tiene ciertas características que compararemos y tomaremos en cuenta con la obra alzada y las partes restantes para completar la micro-hidráulica.

### 1. *Obra de derivación*

La obra de derivación depende de la geografía del terreno, existen muchas micro-hidráulicas que no cuentan con esta obra por la razón de no requerirla, pero en nuestro diseño ya se encuentra formada naturalmente y se aprovechará para mayor comodidad.

Las obras de derivación se clasifican en 2

- Canal de derivación a cielo abierto.

Este tipo de canal es el más considerado porque es de grado natural, aunque se tienen mucho más pérdidas por filtración es el que menos impacta el ambiente.



**Figura II-10.- Canal de derivación a Cielo Abierto**  
**Fuente: Comisión Europea, (1998) Manual para una pequeña hidráulica.**

---

➤ Canal de derivación en Túnel.

Normalmente este tipo de derivación se hace cuando hay que atravesar un macizo de piedra, su construcción y perforación es costosa ya que normalmente está constituida de hormigón.



**Figura II-11.- Canal de derivación en Túnel.**  
**Fuente: Comisión Europea, (1998) Manual para una pequeña hidráulica.**

## 2. Bocatoma

Esta línea de entrada de agua puede ser diseñada con materiales muy sencillos como veremos a continuación en su clasificación:

- a) Por el material con que fueron construidas (concreto, piedra, tierra, madera, ramas).
- b) Por su vida útil (permanentes o temporales).
- c) Por su forma y diseño (barraje total, barraje parcial, espigones, barraje móvil, barraje sumergido o del tipo Tiro).
- d) Por el método de construcción (concreto armado, emboquillado y mampostería).

Cuando el diseño es mucho más laborioso se deben tomar en consideración las siguientes secciones:

- Barraje
- Descarga de fondo
- Solera de captación
- Antecámara
- Reja de admisión
- Compuerta de control de admisión
- Canal de conducción

- 
- Vertederos o aliviaderos
  - Desarenador
  - Colchón de agua
  - Muros de encauzamiento

### 3. Cámara de carga

Como sabemos, el afluente transporta algunas partículas sólidas del lecho del río o bien algunos desechos urbanos que deben ser eliminados antes de que ingresen a la tubería de presión o bien a la turbina, por eso es importante diseñar un desarenador o cámara de carga para eliminar todas estas partículas, por sedimentación.

Los siguientes lineamientos no son necesariamente los más adecuados para un diseño de cámara de carga, pero pueden ser tomados en cuenta para el diseño propio.

1. Deben tener una longitud y un ancho adecuados para que los sedimentos se depositen, sin ser demasiado voluminosos.
2. Deben permitir una fácil eliminación de los depósitos.
3. Se debe impedir la turbulencia del agua causada por cambios de área o recodos que harían que los sedimentos pasen hacia la tubería de presión.

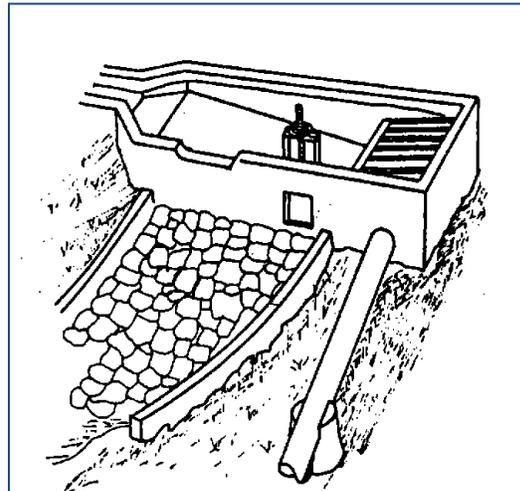


Figura II-12.- Cámara de carga.  
Fuente: Comisión Europea, (1998) Manual para una pequeña hidráulica

---

#### 4. Aliviadero

Los Aliviaderos son solo útiles cuando el caudal ha sobrepasado el de diseño. Su diseño básicamente se define en 3 características, largo, ancho y cresta. Intersecará al canal en determinada sección, siendo ésta la más apropiada para no dañar las instalaciones o el mismo cause.

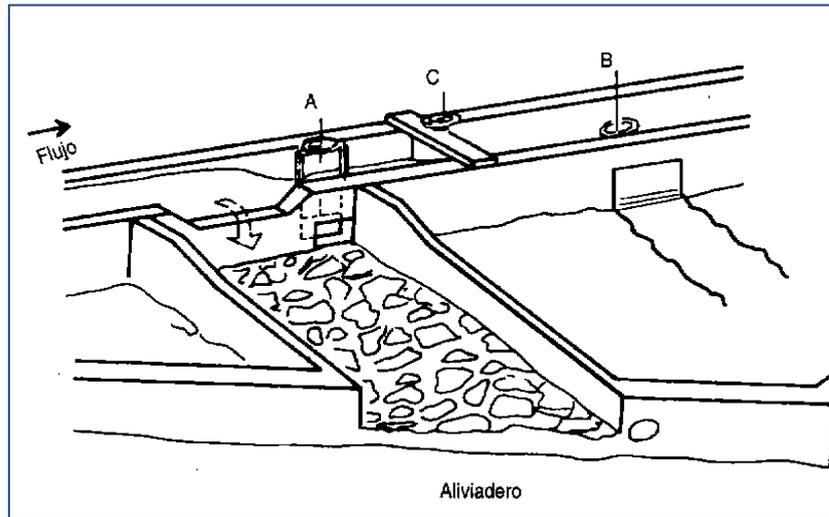


Figura II-13.- Ejemplo de un Aliviadero  
Fuente: Comisión Europea, (1998) Manual para una pequeña hidráulica.

#### 5. Canal

El diseño del canal dependerá de la modificación de curso del afluente o bien si se utilizará el canal natural, para determinar esta situación revisaremos los siguientes parámetros y se establecerá qué es lo que más conviene.

Tipos de canales:

1. Canal de tierra sin revestimiento.
2. Canal de tierra con sello o revestimiento.
3. Canal de mampostería o concreto.
4. Acueductos: hechos de planchas de acero galvanizado, madera o tubos cortados por la mitad.

En la siguiente Figura II-14 se muestra el coeficiente de rugosidad de algunos materiales con los que se puede construir un canal.

<b>Canales de concreto</b>	
Buen acabado con cemento (enlucido)	0.0100
Acabado con yeso o concreto suave con alto contenido de cemento	0.0118
Concreto no enlucido	0.0149
Concreto con superficie suave	0.0161
Revestimiento de concreto irregular	0.0200
Superficies de concreto irregular	0.0200
<b>Canales de madera</b>	
Tablas cepilladas y bien unidas	0.0111
Tablas sin cepillar	0.0125
Canales viejos de madera	0.0149
<b>Cursos Naturales de agua</b>	
Lecho natural de río con fondo sólido, sin irregularidades	0.0244
Lecho natural del río, con hierbas	0.0313
Lecho natural del río con piedras e irregularidades	0.0333
Torrente con piedras irregulares grandes, lecho sedimentado	0.0385
Torrente con piedras gruesas, con bastante sedimento	0.0500

Figura II-14.-Coeficiente de rugosidad de los materiales para un canal.  
Fuente: Comisión Europea, (1998) Manual para una pequeña hidráulica

Este coeficiente de rugosidad deberá ser tomado en cuenta cuando se elija el tipo de material para la construcción, ya que si el caudal es muy fuerte acabará carcomiendo la paredes del canal, si el material no es lo suficientemente resistente y si no hay necesidad de hacer un canal solo se deberá tomar el coeficiente del lecho del río para obtener las pérdidas por fricción.

## 6. Tubería de presión

Existen secciones del funcionamiento de la micro-hidroeléctrica que son más costosas unas que otras, entre los de mayor costo, está la tubería de presión, que en nuestro caso es una manguera industrial, ante esto es prioritario optimizar la sección de la tubería, haciendo un correcto cálculo y buscando la mejor ubicación en el terreno. En conclusión se toma en cuenta algunos de las siguientes características.

- Presión de diseño
- Tipo de unión
- Diámetro y pérdida por fricción
- Peso y grado de dificultad de la instalación

- Accesibilidad al sitio
- Terreno y tipo de suelo
- Mantenimiento y vida esperada de la instalación
- Condiciones climáticas
- Disponibilidad
- Costo relativo

Materiales más comunes para tuberías de presión

- ❖ Acero comercial
- ❖ Policloruro de vinilo (PVC)
- ❖ Hierro dúctil centrifugado
- ❖ Asbesto-cemento
- ❖ Resina poliéster con fibra de vidrio reforzado
- ❖ Caucho (Plástico negro)

La siguiente tabla refleja una comparación de materiales más comunes:

Material	Pérdida por fricción	Peso	Corrosión	Costo	Presión de Trabajo
Hierro dúctil	4	3	2	1	5
Asbesto cemento	3	3	4	4	4
PVC	5	5	4	4	4
Acero comercial	3	3	3	2	5
Polietileno	5	5	5	3	4

Tabla II-2.- Efectividad de los materiales en Tuberías.

Fuente: Comisión Europea, (1998) Manual para una pequeña hidráulica.

Rango 1= malo      5 = Excelente

Otra elemento importante a considerar en el gasto de la tubería son las uniones que se clasifican en 4 categorías:

- ✓ Embridada
- ✓ Espiga y Campana
- ✓ Mecánica
- ✓ Soldada

---

---

En nuestro caso no abundaremos en el tipo de uniones ya que el tipo de tubería seleccionada fue una manguera de plástico negro que no utiliza uniones más que en la entrada y salida.

## 7. Turbina

Para poder seleccionar una turbina debe saber cuáles son las más usadas en este tipo de proyectos, por lo tanto nos basaremos en esta clasificación y uso de cada una.

Clasificación de las turbinas hidráulicas (Comisión Europea, 1998):

- a) Según la variación de la presión estática a través del rodete
  - a.1 Turbinas de acción con impulso, cuando la presión estática permanece constante entre la entrada y la salida del rodete.
  - a.2 Turbinas de reacción, cuando la presión estática disminuye entre la entrada y la salida del rodete.
- b) Según la dirección del flujo a través del rodete
  - b.1 Turbinas de flujo tangencial
  - b.2 Turbinas de flujo radial
  - b.3 Turbinas de flujo semi-axial
  - b.4 Turbinas de flujo axial

Este tipo de clasificación determina la forma o geometría del rodete y será precisado en forma cuantitativa, porque trata con el concepto de número de revoluciones específicas.

- c) Según el grado de admisión del rodete

Considerando la alternativa de que los álabes del rodete estén sometido parcial o simultáneamente a la acción del flujo del agua.

- c.1 Turbinas de admisión parcial
- c.2 Turbinas de admisión total

Ya que sabemos cómo están clasificadas ahora veremos qué tipos existen y algunas de sus características más relevantes.

---

## Tipos de Turbinas Hidráulicas

- Turbinas de acción
  - a) Turbinas Pelton de 1 o más inyectores
  - b) Turbinas Turgo
  - c) Turbina Michell-Banki
  
- Turbinas de reacción
  - a) Bomba rotodinámica operada como turbina.
  - b) Turbinas Francis, en sus variantes: lenta, normal y rápida.
  - c) Turbina Deriaz.
  - d) Turbina Kaplan y de Hélice.
  - e) Turbinas axiales, en sus variantes: tubular, bulbo y generador periférico.

Ahora que conocemos sus características podemos apoyarnos de algunos otros cálculos que serán realizados en capítulo 3 basándonos en las características anteriores.

Características De Turbinas Hidráulicas							
	Turbina	Inventor y año de patente	N <sub>s</sub> (rpm, hp,m,) rpm	Q m <sup>3</sup> /s	H m	P kW	H <sub>máx</sub> %
A C C I Ó N	PELTON	Lester Pelton (EE:UU.) 1880	1 Ch: 30 2 Ch: 30-50 4 Ch: 30-50 6 Ch: 50-70	0.05-50	30-1800	2-300000	91
	TURGO	Eric Crewdson (G. Bretaña) 1920	60-260	0.025-10	15-300	5-8000	85
	MICHELL-BANKI	A.G. Michell (Australia) 1903 D.Banki (Hung) 1917-1919	40-160	0.025-5	1-50 (200)	1-750	82
R E A C C I Ó N	Bomba Rotodinámica	Dionisio Papin (Francia) 1689	30-170	0.05-0.25	10-250	5-500	80
	FRANCIS	James Francis (G. Bretaña) 1848	L: 60-150 N: 150-250 R: 250-400	1-500	2-750	2-75000	92
	DERIAZ	P. Deriaz (Suiza) 1956	60-400	500	30-130	100,000	92
	KAPLAN y de Hélice	V. Kaplan (Austria) 1912	300-800	1000	5-80	2-200000	93
	AXIALES: -Tubular -Bulbo -Generador periférico	Kuhne-1930 Hugenin-1933 Harza-1919	300-800	600	5-30	100,000	93

Tabla II-3.- Características de las Turbinas.

Fuente: Comisión Europea, (1998) Manual para una pequeña hidráulica

N<sub>s</sub>: velocidad específica

Ch: Chorro

L: lento

N: normal

R: rápido

---

## 8. *Generador*

La clasificación de los generadores no ha cambiado, solo se han hecho más eficientes y de distintos materiales, lo que debemos tomar en cuenta en esta selección es cuál será el mayor costo-beneficio. Para eso analizaremos las siguientes características:

➤ **Alternadores síncronos**

Equipos con un sistema de excitación asociado a un regulador de tensión par que, antes de ser conectados a la red, generen energía eléctrica con el mismo voltaje, frecuencia y ángulo de desfase igual a la red.

Los alternadores síncronos pueden funcionar aislados de la red. Normalmente si la potencia sobrepasa los 5,000 kVA, se emplean generadores síncronos

➤ **Alternadores asíncronos**

Son simples motores de inducción con rotor en jaula de ardilla, sin posibilidad de regulación de tensión, que giran a una velocidad directamente relacionada con la frecuencia de la red a la que están conectados.

De esta red extraen su corriente de excitación y de ella absorben la energía reactiva necesaria para su propia magnetización. Esta energía reactiva puede compensarse, si se estima convenientemente, mediante bancos condensadores. No pueden generar corriente cuando están desconectados de la red ya que son incapaces de suministrar su propia corriente de excitación.

Se emplean cuando la potencia inferior es de 500 kVA y máxima a 5,000 kVA a elección viene condicionada por la capacidad de la red de distribución.

Los alternadores síncronos son más caros que los asíncronos y se utilizan para alimentar redes pequeñas, en las que su potencia representa una proporción sustancial de la carga del sistema (Comisión Europea, 1998).

## 9. *Línea de interconexión a la red Nacional*

Se determina que solo se utilizará una línea de transmisión para la interconexión a la red nacional, y ninguna de distribución.

En general las líneas de transmisión son trifásicas de tres conductores y de una sola terna, aunque también pueden ser trifásicas de cuatro conductores, monofásicos de dos conductores o monofásicos con retorno a tierra.

Utilizaremos los siguientes parámetros para un buen diseño:

1. Trazado de línea

Ubicar los puntos de partida y el punto de llegada, es necesario determinar el recorrido real que tendrá la línea, a fin de establecer con exactitud los principales parámetros de diseño, tales como la longitud, los cambios de dirección y los cambios de cotas, así como las condiciones climáticas a las que estará sometida en su recorrido.

2. Regulación de tensión

Las tensiones que se pueden seleccionar están establecidas en los códigos y reglamentos dados por CFE y la NOM 001-2005 con las cuales se seleccionan este tipo de tensiones.

3. Selección de conductores

Esta selección se realiza considerando la caída de tensión y capacidad de corriente o característica mecánica de los conductores.

En la siguiente tabla tenemos algunos tipos de conductores usados normalmente en una zona rural.

Usos	Características de los conductores	Calibre (mm <sup>2</sup> )	Nº de hilos
Líneas de transmisión, en 10 kV o tensiones superiores.	Aleación de aluminio (Aa)  Cobre de alta pureza, (99.9%) refinado electrolíticamente, temple duro, desnudo. Normas de fabricación: ASTM-B8	6	7
		10	7
		16	7
		25	7
Redes de distribución primaria en general, con tensiones de 10 kV o menos.	Cobre de alta pureza (99.9%) refinado electrolíticamente, temple duro, desnudo. Normas de fabricación: ASTM-B8	6	7
		10	7
		16	7
		25	7
Redes de distribución secundaria en general, con tensiones de 2200 V a 380/220 V.	Cobre de alta pureza (99.9%) refinado electrolíticamente, temple duro, o semiduro. Especificaciones ASA-C8-35	6	1
		10	1
		16	1

Figura II-15.- Conductores Utilizados en comunidades rurales.  
Fuente: Comisión Europea, (1998) Manual para una pequeña hidráulica.

Con la abundancia en el desarrollo de las micro centrales sentamos las bases para desarrollar nuestra micro-hidroeléctrica.

---

---

## CONCLUSIÓN

Se definió y planteó qué es una micro-hidráulica, cómo genera y para quién es rentable el uso de su energía, así como la descripción de algunos diseños que podrían utilizarse para el proyecto, además de aprender más sobre como clasificarlas no solo por su potencia.

Conocimos las diferentes regulaciones que existen para realizar un proyecto donde intervengan energías renovables enmarcando la energía hidráulica, así como los beneficios que puede obtener el gobierno y los productores, con esto ahora podemos darle una visión al proyecto para poder tener un incentivo del Fideicomiso de Energía, ya sea vendiendo a empresas o directamente a CFE.

Se presentó la teoría para el desarrollo de una micro central, permitiendo ubicar de mejor forma la maquinaria y obra civil que hay que desarrollar para llevar a cabo nuestro proyecto.

---

---

Capítulo III    DISPONIBILIDAD DE RECURSOS, GEOGRÁFICOS, ENERGÉTICOS E HÍDRICOS

Solamente aquel que contribuye al futuro  
tiene derecho a juzgar el pasado<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Nietzsche, Friedrich

---

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo del siguiente capítulo permite el conocimiento del área física y geográfica de nuestro proyecto, lo que implica conocer geográficamente la zona, su población el tipo de flora, fauna, clima, de esta manera se determina cuando hay mayores precipitaciones, además de investigar cuáles son las necesidades de la comunidad de Santo Tomás Ajusco. Y si realmente el proyecto puede beneficiar a los habitantes, por lo que se realizará una estimación de un análisis de cargas, además de visitar la zona de los Apapaxtles que se encuentra ubicada cerca de la comunidad de Santo Tomás y de observar los trabajos realizados para el entubamiento de este hilo de agua que provee del líquido a la comunidad que normalmente sufre de la falta de éste.

### 3.1.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SITIO

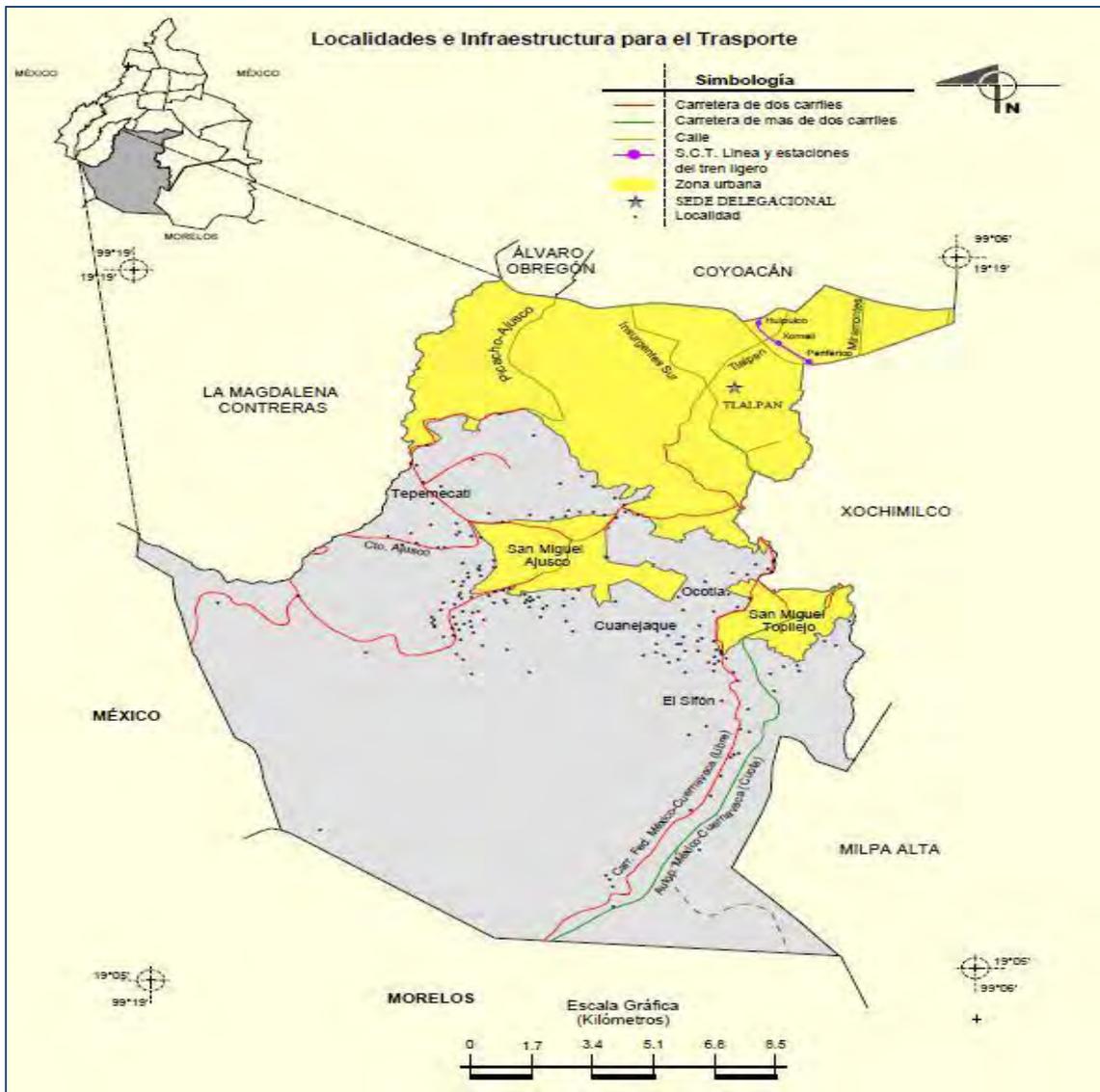
La zona de los Apapaxtles se encuentra dentro del pueblo de Santo Tomás Ajusco, que está ubicado en el la delegación de Tlalpan en el Distrito Federal, con las siguientes coordenadas geográficas de Tlalpan: 19° 09' 57" latitud Norte y 99° 09' 57" de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich y esta de 2,270 M.S.N.M. .



Figura III-1.-Vista de los Apapaxtles  
Fuente: Propia

Tlalpan colinda al Norte con las delegaciones Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Coyoacán. Al Oriente con Xochimilco y Milpa Alta; al Sur con los municipios de Huitzilac

(Morelos) y Santiago Tianguistenco (Estado de México) al Poniente otra vez con Santiago Tianguistenco y con Xalatlaco, del mismo estado, así como con la Delegación Magdalena Contreras.



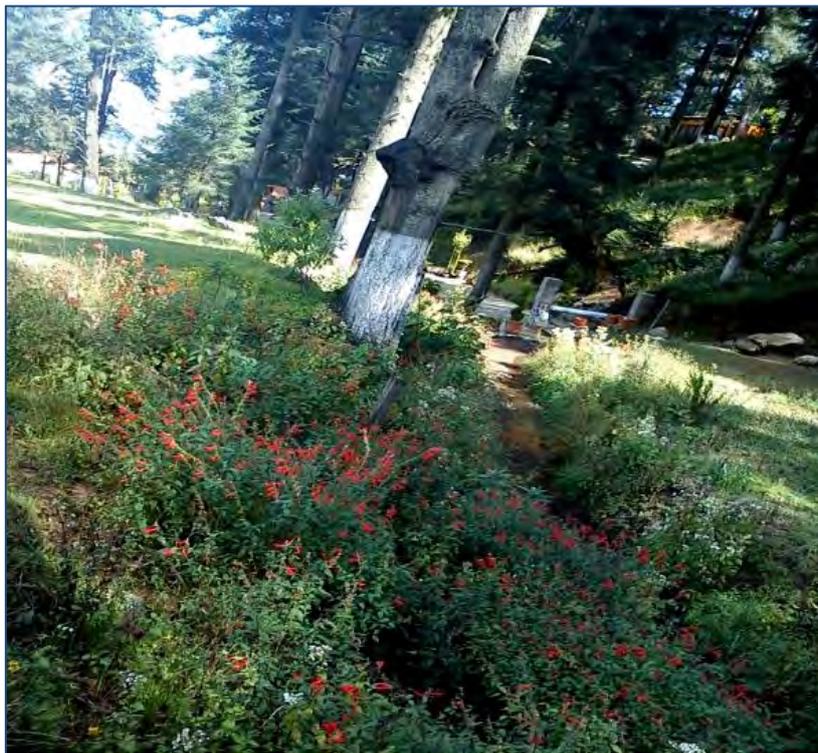
**Figura III-2.-Mapa de la delegación de Tlalpan**  
Fuente: INEGI, (2010)

Los Apaxtles tiene una distancia a Santo Tomás Ajusco de 2.457 Km y las siguientes coordenadas: 19° 12' 45.46" N y 99° 13' 37.8" O y a 3087 M.S.N.M, además de estar a un 1 Km. de distancia de la carretera Picacho Ajusco (Figura III.3).

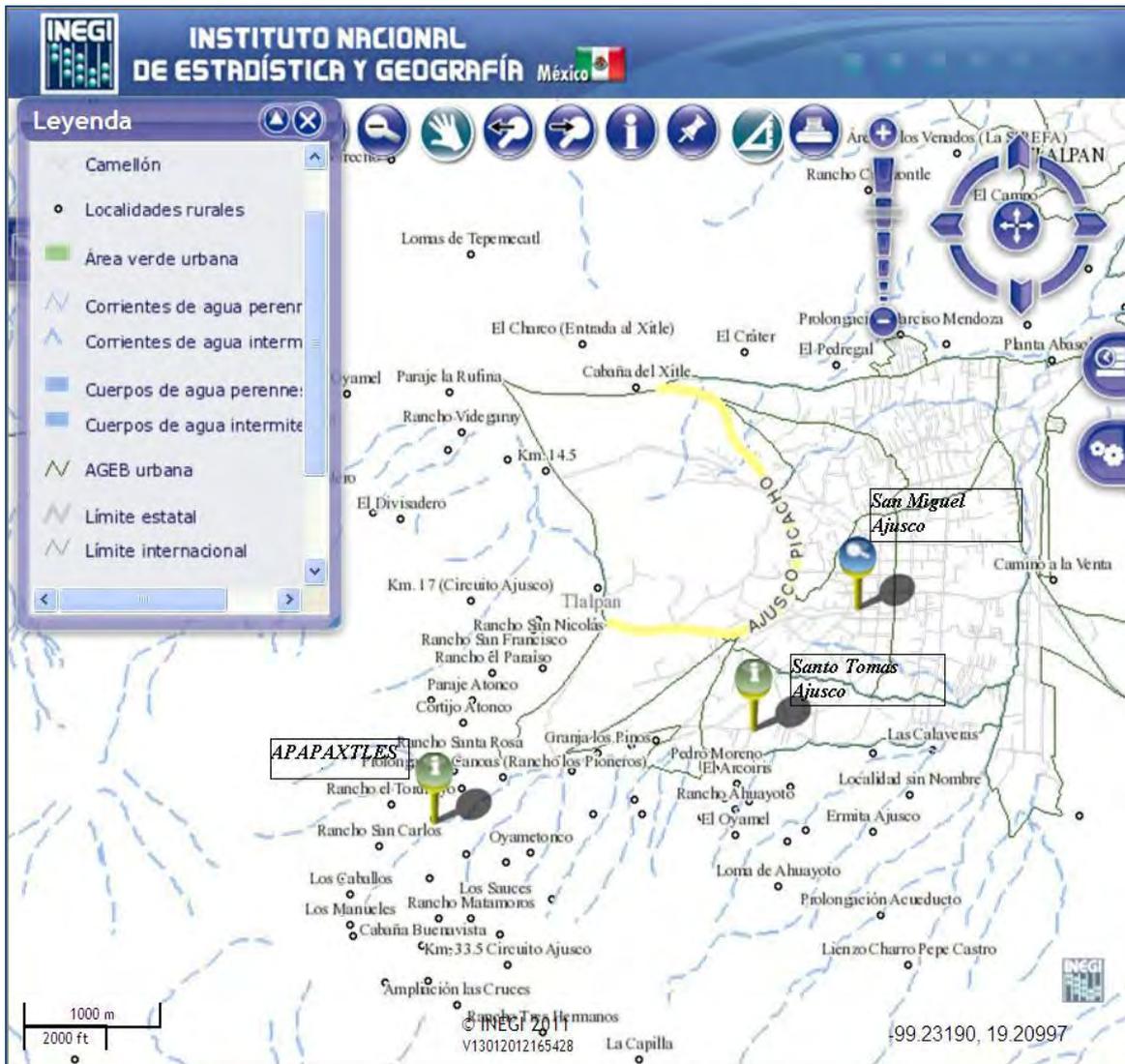
Los Apaxtles se distinguen por su amplia vegetación y diversidad de pinos y oyameles (Figura III-3), es un sendero natural, que con el paso del tiempo y del uso humano se ha alargado, como lo muestra la Figura III-4.



**Figura III-3.- Vista de los alrededores de los Apapaxtles.  
Fuente: propia**



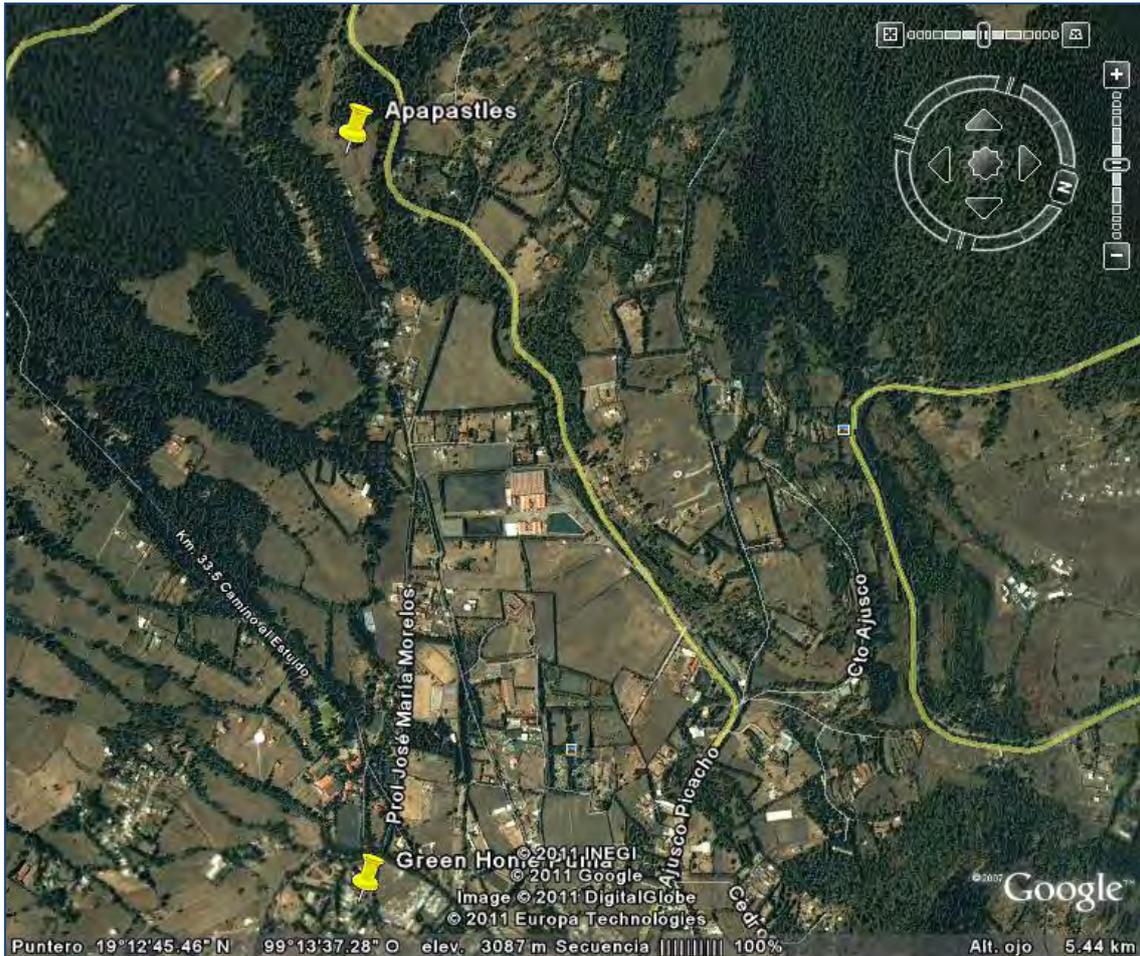
**Figura III-4.- Vista superior de los Apapaxtles  
Fuente: propia**



**Figura III-5.-Ubicación Orográfica y Geográfica de los Apaxtles**  
**Fuente: INEGI, (2010)**

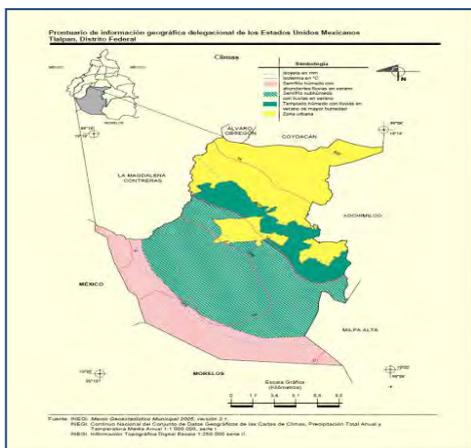
Su orografía destaca por ser terreno rocoso y estar rodeado de elevaciones volcánicas tiene al Cerro del Márquez con una altura máxima de 3 mil 930 metros y una mínima ubicada en la zona del cruce de avenida Anillo Periférico y Viaducto Tlalpan.

Santo Tomás Ajusco se encuentra entre las elevaciones que rebasan los 3 mil metros conjuntamente con El Pico del Águila, Los Picachos, El Judío, Caldera, El Guarda, Quepil y Mezotepec.



**Figura III-6.-Ubicación Geográfica de los Apapaxtles**  
**Fuente: Google Earth®**

En cuestión de hidrografía tiene una red de ríos atemporales e intermitentes que recorren trayectos cortos para perderse en zonas de mayor permeabilidad (Figura III-5), ésta es una de las características de las que goza Los Apapaxtles, ya que se alimenta de filtraciones.



**Figura III-7.- Climas de la región.**  
**Fuente: INEGI, (2010)**



**Figura III-8.- Ilustración de la Región**  
**Fuente: INEGI, (2010)**

---

---

Actualmente solo existen los cauces de los ríos que fueron de caudal importante: San Buenaventura y San Juan de Dios que vuelven solo en tiempo de lluvias.

El clima Tlalpan tiene cinco tipos como se muestra en la Figura III.7.

- El 32 % de la superficie delegacional tiene clima templado sub-húmedo con lluvias en verano y mayor humedad.
- El 6% de la superficie tiene clima templado sub-húmedo con lluvias en verano y de media humedad.
- El 0.33 % de la extensión territorial tiene una temperatura templada sub-húmeda con lluvias en verano y de menor humedad.
- En el 17.7 % predomina la atmósfera semi-fría húmeda con abundantes lluvias en verano.
- En el 44 % de la demarcación hay clima semifrío sub-húmedo con lluvias en verano, de mayor humedad.

Las temperaturas medias anuales se registran en las partes más bajas y oscilan entre los 10°C y 12°C, mientras que en las regiones con mayor altitud son inferiores a los 8°C.

Por las condiciones antes mencionadas identificamos a la zona de Los Apapaxtles como un río de temporal, ya que aumenta su cauce en temporada de lluvia en los meses de verano ya que incrementa la filtración del subsuelo, del cual se alimenta y en los meses secos baja su cauce aunque se sigue alimentado de filtraciones de las pequeñas precipitaciones aledañas.

### **3.2.- POTENCIAL ENERGÉTICO DISPONIBLE**

Analizaremos el potencial energético con el que cuenta Los Apapaxtles y que tanto puede ayudar a la comunidad de Santo Tomas Ajusco. Para este análisis disponemos de los siguientes datos técnicos del sitio, así como algunas constates a utilizar en el sistema Métrico Decimal y Sistema Métrico Inglés para facilitar algunos cálculos y expresión de gráficos.

Para comenzar con los cálculos, se deben conocer la altura del salto del río, en este caso se tomará la distancia de aguas arriba y aguas abajo como el salto del rio, además de los diámetros o secciones de las tuberías, la distancia recorrida y la densidad del líquido.

Los habitantes de Santo Tomás en un esfuerzo por contar con agua en sus casas, entubaron el riachuelo con un tipo de manguera de plástico negro (caucho negro) y el diámetro elegido por ellos fue de 2 [pulg].

Datos Medidos	Medición	Unidad
Sección de la tubería	0.166	[ft]
	2	[pulg]

Tabla III-1.- Diámetro de la tubería

Como la obra civil de la tubería ya había sido realizada se tomó este dato como parámetro para realizar los cálculos pertinentes posteriores.

Para calcular el caudal anual medio en el tramo deseado, se utiliza el método del balance hídrico, que bien se podría denominar como la versión hidrológica de la ecuación de continuidad que está demostrada en el Anexo B. Esta dice que, para cualquier sistema considerado y durante cualquier periodo de tiempo, la diferencia entre sus entradas y salidas será igual al cambio de volumen de agua en él almacenado. El uso de esta ecuación implica medidas de flujo y almacenamiento de agua, aunque mediante una adecuada selección del espacio y del tiempo para los que se realiza el balance, se pueden eliminar algunas medidas.

El cálculo de caudales se fundamenta en el Principio de Bernoulli, el teorema demuestra la relación fundamental entre la presión, la altura y la velocidad de un fluido ideal, las cuales no pueden modificarse una de la otra independientemente, sino que dependen de la energía mecánica del sistema, con esto la integramos a la ecuación de continuidad que complementa el teorema, que para un fluido sin rozamiento se expresa así:

$$V_Q = \sqrt{2 * g * (h_2 - h_1)} = \sqrt{2 * g * h_s} \left[ \frac{ft}{s} \right] \textit{Velocidad del Caudal}$$

Ecuación III-1

Dónde:

$V_Q$  Es la velocidad del caudal medida en pies por segundo

$g$  Es la constate gravitacional en pies por segundo cuadrados

$h_s$  Es la diferencia de altura entre la entrada y la salida del caudal en pies

$$V_Q = \sqrt{2 * 32 \left[ \frac{ft}{s^2} \right] * 429.79 [ft]} = 165.85 \left[ \frac{ft}{s} \right] = 50.55 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Ecuación III-2

---

---

En base a la ecuación de continuidad obtendremos el caudal volumétrico que se expresa de la siguiente manera:

$$Q = V * S \left[ \frac{ft^3}{s} \right] \text{ Caudal volumetrico}$$

Ecuación III-3

Dónde:

**Q** Es el Caudal volumétrico

**V** Es la velocidad del Caudal  $V_Q$

**S** Es la Sección de la tubería en pies

$$Q = 165.85 \left[ \frac{ft}{s} \right] * (0.166[ft])^2 * \frac{\pi}{4} = 3.589 \left[ \frac{ft^3}{s} \right] = 0.102 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

Ecuación III-4

Flujo másico del río:

$$\dot{m} = \rho * Q \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

Ecuación III-5

Dónde:

**m** Es el flujo másico

**ρ** Es la densidad del agua

**Q** Es el caudal Volumétrico

$$\dot{m} = 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 0.102 \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 102 \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

Ecuación III-6

Para designar el tipo de turbina tendremos que analizar la potencia:

---

---

$$P = 9.81 Q_i H \eta$$

Ecuación III-7

$$P = 9.81 Q_i H(\eta) [kW]$$

Ecuación III-8

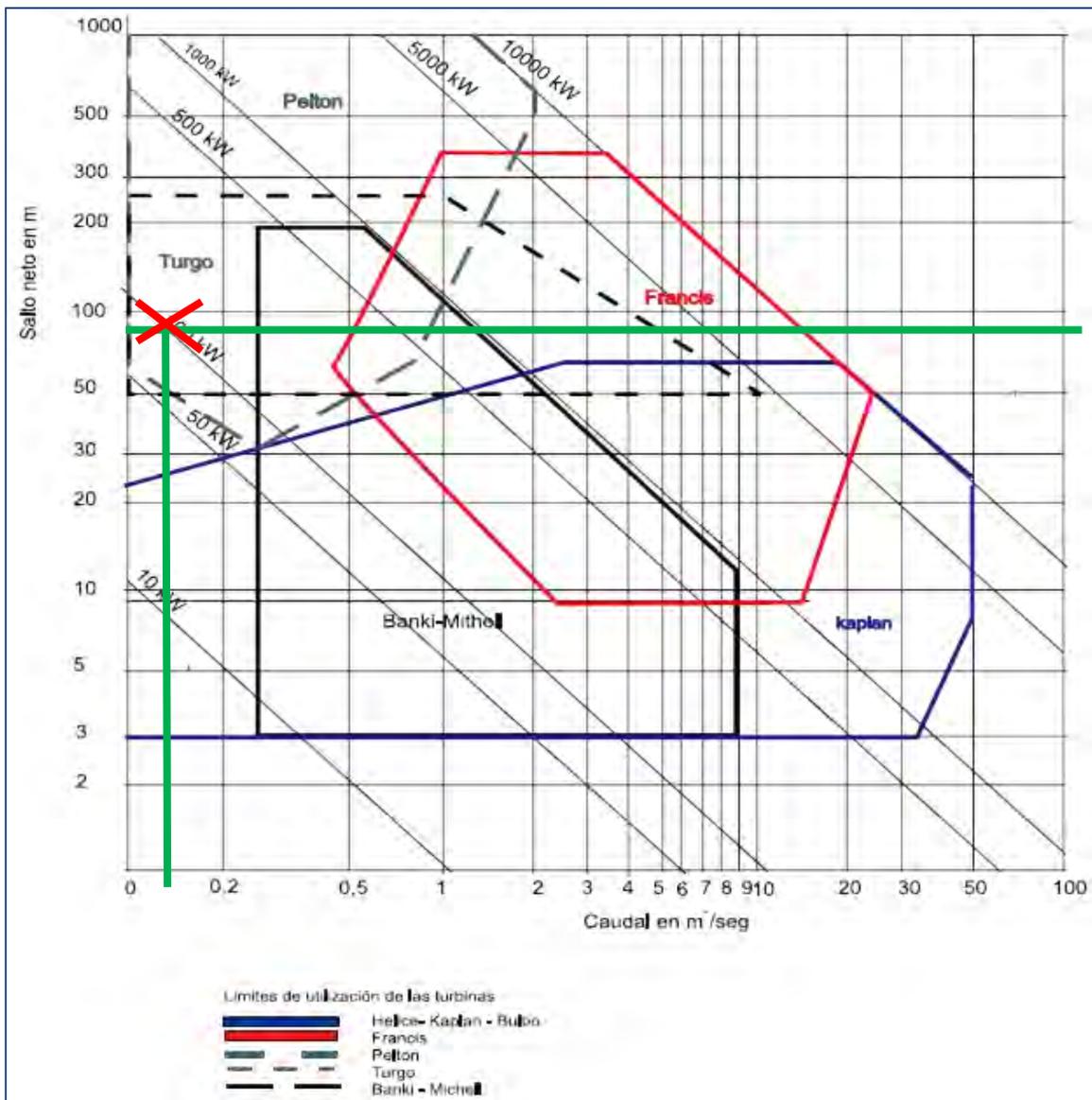
Dónde:

**$Q_i$**  Es el Caudal Volumétrico

**$H$**  Es la altura del Salto

**$\eta$**  Es eficiencia %

Ya que tenemos el caudal volumétrico medido, será un parámetro para poder designar que tipo de turbina usaremos esto se hará con la altura del salto y el caudal además compararemos con base a la Generación Media Anual calculada y con la Gráfica III-1.



Gráfica III-1.-Gráfica de Turbinas

Fuente: Comisión Europea, (1998), Manual para una pequeña hidráulica

Por los cálculos anteriores y la altura de 131[m] un caudal de 0.102 [m<sup>3</sup>/s] y una potencia de 110.2 [kW] tenemos una elección de la turbina Turgo, con las siguientes características:

Características	Valores
Potencia mínima de la Turbina	50 [ kW]
Potencia máxima de la Turbina	5000 [kW]
Salto neto mínimo	50 [m]
Salto neto máximo	250 [m]
Caudal volumétrico mínimo	0.1 [m <sup>3</sup> /s]
Caudal volumétrico máximo	10 [m <sup>3</sup> /s]

Tabla III-2.-Características para una turbina Turgo.

Fuente: Comisión Europea, (1998) Manual para una pequeña hidráulica.

Entonces el porcentaje de eficiencia para una turbina Turgo seleccionado será de 0.92.

En resumen, los siguientes datos medidos y estimados, serán la base para el cálculo de la potencia y energía generada.

DATOS MEDIDOS	CANTIDAD	UNIDADES
Salto o caída de agua	131	[m]
Densidad del Agua	1000	$\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$
Gravedad	9.8	$\left[\frac{Kg * m}{s^2}\right]$
Eficiencia del generador %	0.965	$[\eta_g]$
Eficiencia de la turbina %	0.92	$[\eta_t]$
Eficiencia %	0.95	$[\eta_h]$

Tabla III-3.- Datos medidos para el cálculo del caudal

Obteniendo primero la potencia:

$$P = 9.81 * 0.102 \left[\frac{m^3}{s}\right] * 131[m] * (0.95 * 0.92 * 0.965) = 110.2 [kW]$$

Ecuación III-9

En el capítulo anterior se concluyó que Los Apapaxtles requiere de una micro-hidráulica al “hilo de agua” o también llamada central sin presa de almacenamiento, tomaremos en cuenta las siguientes características para el factor de carga.

Como la carga hidráulica se logra solo mediante un desnivel topográfico, no podrá regular su potencia a voluntad y dependerá de las variaciones naturales del flujo disponible en el río. Estas centrales se diseñan con un “alto” factor de planta. Se busca generar el mayor porcentaje de energía respecto de la generación máxima posible. Los valores típicos son 0.6 a 0.8, para nuestro cálculo utilizaremos el máximo factor de planta 0.8 ajustado por la disponibilidad del caudal de agua en función de la lluvia, filtración del agua y época del año (Comisión Europea, 1998).

El cual utilizaremos en el cálculo de la **Generación media Anual**

$$GMA = P * Hr * F.P. = [kWh/Año]$$

Ecuación III-10

---

---

Dónde:

*P* Es la potencia

*h* Horas en funcionamiento

*F.P* Factor de planta

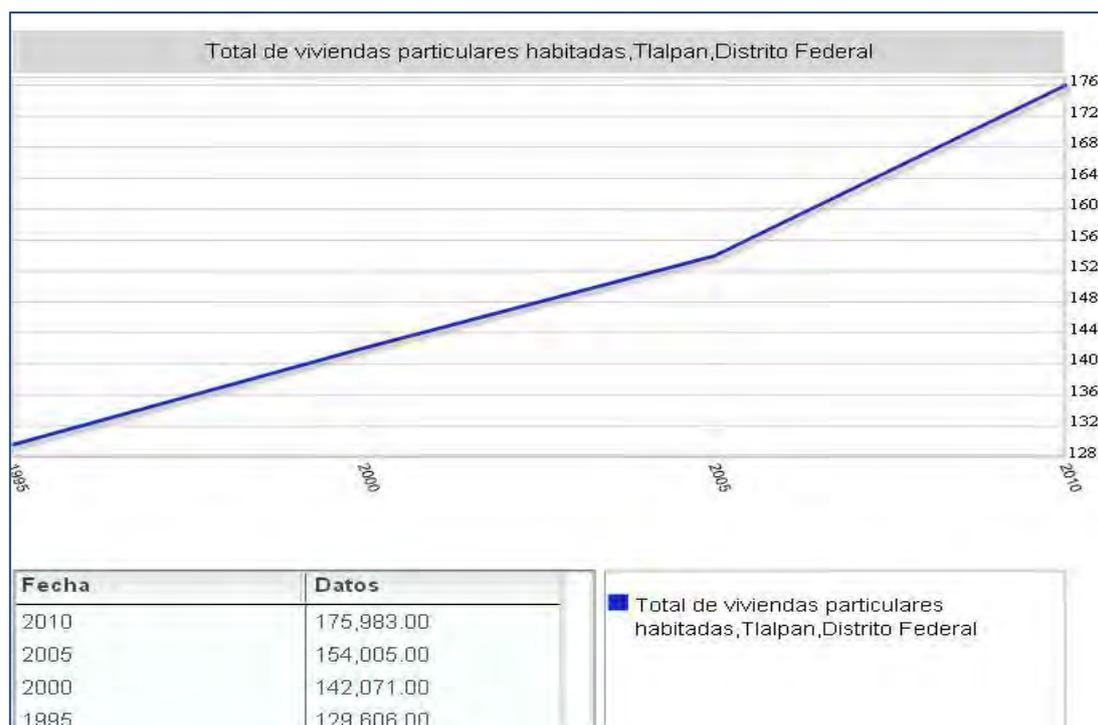
En los meses de diciembre a mayo se observa una disminución del caudal disponible de agua, se estima que se reduce en promedio durante estos meses en 60%, pero durante los meses de junio a septiembre (plena época de lluvia) el caudal sobrepasa por mucho la capacidad de la obra de toma, derramándose en exceso, por esta razón se plantea estimar un factor de planta de 0.8 para los meses de junio a noviembre y de diciembre a mayo de 0.32, en promedio dando un factor de planta medio anual de 0.56.

$$GMA = 110.2[kW] * 8760[h] * 0.56 = 540,597.12 [kWh/Año]$$

Ecuación III-11

### 3.3.- NECESIDAD ENERGÉTICA DE LA COMUNIDAD

En las últimas décadas, la llamada mancha urbana se ha extendido de manera notable en la periferia de la Ciudad de México. Esta urbanización no solo impacta económica, ecológica, social y demográficamente al uso del suelo que ha estado o se denomina como área natural protegida. Para fines de nuestro estudio, nos concentraremos en delegación de Tlalpan y dentro de sus pueblos aledaños (San Pedro Mártir, San Andrés Totoltepec, San Miguel Xicalco, La Magdalena Petlascalco, San Miguel, Santo Tomás Ajusco, San Miguel Topilejo y Parres el Guarda), la cual ha tenido un gran impacto en el crecimiento de sus asentamientos en los últimos 15 años, así como se puede ver en la Gráfica III-2.



Gráfica III-2.- Gráfica del crecimiento total de viviendas habitadas en la Delegación Tlalpan en 15 años Fuente: INEGI, (2010)

En este último censo de población (INEGI 2010) la Delegación registro:

TIPO DE CENSO	ESTADÍSTICA
Total de Habitantes	650,567
Viviendas habitadas	175,983
Promedio de habitantes por hogar	3.7
Hogares conectados al servicio eléctrico	169,436
Hogares con servicio de agua de la red pública	147,575

Tabla III-4.- Censo de población en Santo Tomas Ajusco. Fuente: INEGI, (2010)

Con estos datos se determina que de las 175,983 viviendas, solo 97.27% de la población cuenta con el servicio eléctrico y el 83.85% cuenta con agua entubada, estos datos son generados en la delegación Tlalpan, pero para fines del estudio nos ubicaremos específicamente en Santo Tomás Ajusco quien se denomina como la comunidad con necesidad energética e hidrológica, que en determinados puntos de la comunidad no cuenta con los servicios básicos de agua, luz y drenaje. Dentro de esta comunidad se tiene ubicado el proyecto de los Apapaxtles, que pretende ayudar a un porcentaje de esta delegación que carece de los recursos de agua.

---

---

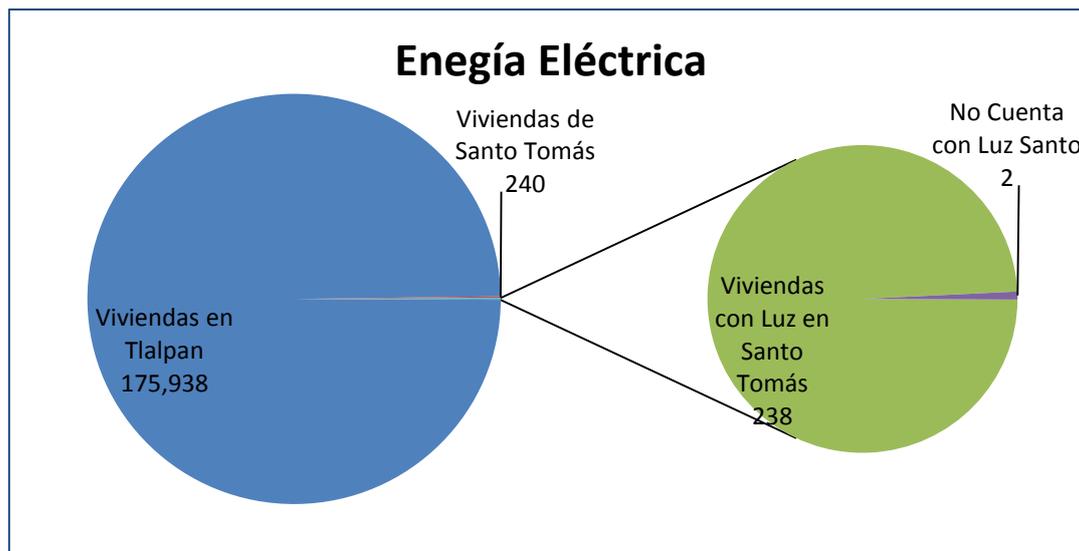
A pesar de todos los recursos naturales aledaños con los que cuenta el pueblo de Santo Tomás Ajusco tiene un déficit energético causado por los asentamientos urbanos en suelo protegido, el INEGI registra a esta población como: (INEGI, 2010).

CENSO	ESTADISTICA
Total de habitantes	1654
Hogares censales	240
Servicios de luz	238
Servicios de drenaje	230
Servicio de agua Potable	106
Ocupantes por Vivienda	4.9

Tabla III-5.- Censo de servicios en Santo Tomas Ajusco.  
Fuente: INEGI, (2010)

El censo arroja que el 99.16% de las personas cuenta con el servicio de energía eléctrica, pero en una revisión de algunas instalaciones y viviendas, la gente se encuentra conectada a la red eléctrica de manera ilegal, encontrando así a los famosos “diablitos”, evitando la interconexión y el uso del medidor o wattorimetro; afectándose y afectando a habitantes que cuentan con el servicio de interconexión regulada, ya que en las horas pico que oscilan entre las 6 pm y 11 pm, el servicio es insuficiente para accionar un televisor o en todo caso una bomba de agua, aunado a las variaciones cotidianas de voltaje.

Esto se debe a que la demanda promedio aumenta a causa de la baja en la temperatura incrementándose este efecto en los meses invernales, ya que los pobladores tienden a conectar calefacciones, hornos eléctricos y resistores para calentar agua generando el desbalance.

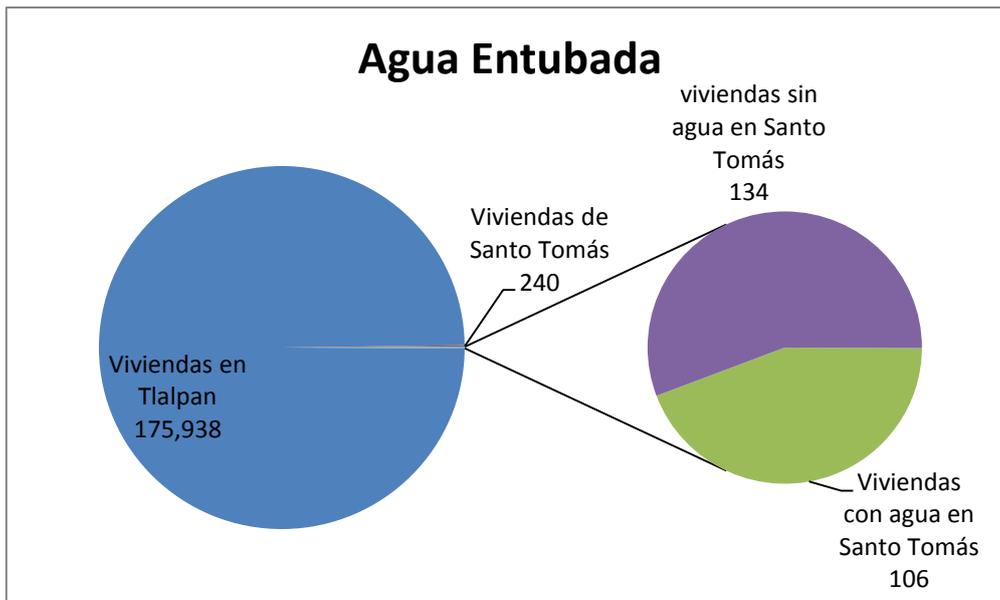


Gráfica III-3.- Gráfica de la representación de energía en el pueblo de Santo Tomás con respecto a la Delegación de Tlalpan  
Fuente: INEGI, (2010)

Eso es con respecto a la necesidad eléctrica, pero también existe la necesidad del agua potable, porque solo el 44.16% cuenta con agua entubada, debido a que no hay una red precisa que alimente a la población.

La mayoría de las viviendas cuenta con algún tipo de cisterna o almacenamiento de agua, que se abastece por medio de pipas que envía la demarcación regularmente, siendo este servicio insuficiente.

En algunos lugares se hace recolección de aguas pluviales, acción que han repetido los habitantes en su afán de necesidad y como solución, otra medida ha sido entubar el agua de las filtraciones naturales que corren y bajan por alguna ladera como la de Los Apapaxtles.



**Gráfica III-4.- Gráfica representativa del agua potable entubada en Santo Tomás comparada con el total de la delegación de Tlalpan.**  
Fuente: INEGI, (2010)

Dicha gráfica permite visualizar la necesidad de agua, que es mayor a la necesidad energética, pero que se le puede dar un uso doble al sistema de abastecimiento de agua que se ha realizado autónomamente, ya que en base a las regulaciones mencionadas en el capítulo 2 se puede dar un uso a la energía producida por establecimientos asociados que permite entregar la energía a la interconexión de la Red Nacional o bien ser pequeño productor y vender la energía a empresas, además existe la posibilidad de utilizar la energía para alimentar a las instalaciones comunitarias (un auditorio, un refugio que sirve de lugar de alojamiento a visitantes a manera de hotel, dos Comisarias o proyectos comunitarios de actividades agroindustriales) vendiendo el excedente a CFE así como lo dictamina el convenio.

### 3.4.- ANÁLISIS DE CARGAS E INSTALACIONES

En esta sección se analiza el tipo de carga eléctrica de la comunidad, haciendo referencia a la Nom-001 2005 de instalaciones eléctricas de baja tensión así como tablas y estimaciones de CFE, además se debe cumplir con ciertas especificaciones para poder hacer una interconexión a la red con respecto a las Especificaciones de Fuentes Distribuidas de Pequeña Escala.

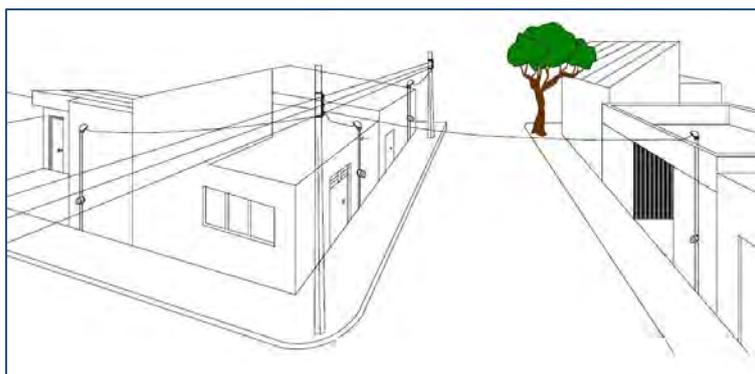
Las instalaciones eléctricas que normalmente se encuentran en la comunidad son del tipo: alumbrado público, habitacional, comercio, pequeños motores, equipo especial, calefacción, electrodomésticos, receptáculos y aire acondicionado; ya que solo nos referiremos al consumo de tipo:

- Tipo habitacional Monofásico
- Tipo comercio Bifásico

---

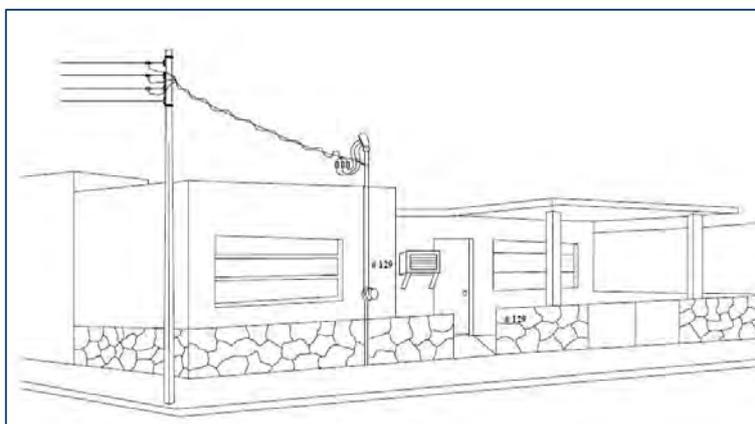
---

*Esquema de conexión habitacional Monofásica*



**Figura III-9.- Instalación de Línea Monofásico habitacional**  
Fuente: CFE, (2011)

*Esquema de Conexión Comercial Bifásica*



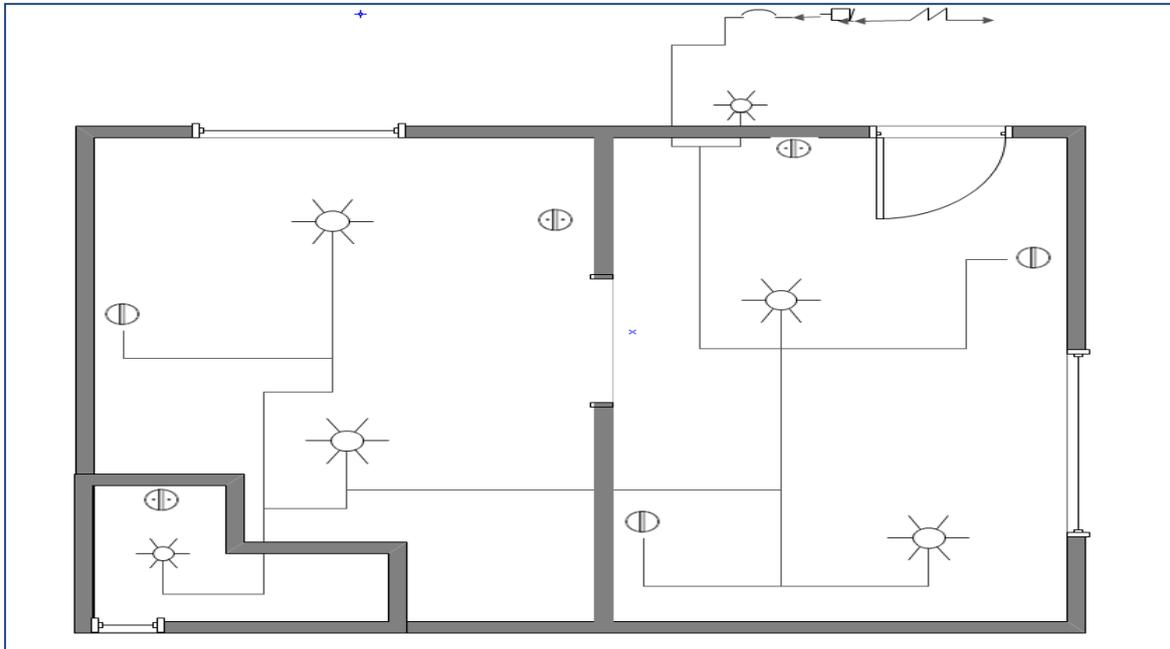
**Figura III-10.-Instalación de Línea Bifásica**  
Fuente: CFE,(2011)

Por lo tanto, para el cálculo de las cargas haremos uso de la Tabla III-6 proporcionada por CFE.

<b>Aparatos Electrodomésticos</b>	<b>Potencia [W]</b>
<b>Televisión</b>	120
<b>Radio</b>	40
<b>Horno de Microondas</b>	1200
<b>Plancha</b>	1000
<b>Refrigerador</b>	500
<b>DVD</b>	25
<b>Lavadora</b>	400
<b>Licuadaora</b>	400

**Tabla III-6.- Potencia de aparatos domésticos comunes.**  
Fuente: CFE, (2011)

Se ha realizado una estimación del número de luminarias y aparatos electrodomésticos que en promedio se puede utilizar en alguna de las viviendas más comunes de la comunidad, como ejemplo tenemos el esquema representativo de una vivienda con un promedio de 4 luminarias 3 receptáculos dobles de 15 Amperes y tres apagadores sencillos.



**Figura III-11.-Instalación eléctrica en una vivienda típica.**  
Fuente: propia

Los aparatos electrodomésticos estándar son:

Televisión	120 [W]
Radio	40 [W]
Licuada	400 [W]
Calentador	200 [W]
Plancha	1000 [W]
Refrigerador	500 [W]

---

Total      2260 [W]

De acuerdo con la NOM-001 2005, para aparatos eléctricos fijos, se debe aplicar el 75% de la carga total conectada:

$$2260[W] * 0.75 = 1695 [W]$$

---

---

A este resultado se suman las 4 luminarias que tiene en promedio cada vivienda:

$$4 \text{ Luminarias de } 100[\text{W}] \text{ cada una} = 400[\text{W}]$$

Se le asignó este consumo ya que la comunidad no cuenta con luminarias ecológicas o ahorradoras.

Finalmente la potencia para este tipo de vivienda sería de:

$$1695 [\text{W}] + 400 [\text{W}] = 2095 [\text{W}]$$

La demanda total de Comunidad del pueblo de Santo Tomás Ajusco se realizó en base a las estadísticas del censo de población y vivienda del INEGI 2010

COMUNIDAD	DEMANDA TOTAL CALCULADA
Santo Tomas Ajusco	502.8 [KW]
	<b>DEMANDA TOTAL REAL</b>
Santo Tomas Ajusco	1.66 [MW]

Tabla III-7.- Demanda energética calculada y real

Como comentábamos en el punto anterior la mayoría de la comunidad se encuentra conectada a un “diablito” se estima que entre 60 y 70% de la población tiene este tipo de conexión ilegal. Aunque en los últimos 6 meses se ha visto un esfuerzo importante de la CFE por regularizar las conexiones a la red eléctrica, este esfuerzo ha consistido en sustituir los 4 conductores usuales desnudos, por cables trenzados y aislados que evitan la conexión de diablitos en cualquier trayectoria de los conductores, aunado a la campaña que invita contratar los medidores eléctricos y el corte de los cables ilegales.

Ya que la CFE se ha dado a la tarea de resolver la interconexión ilegal de las casa habitación, entonces se pudiera utilizar la energía proveniente de la micro central para dirigirla al abastecimiento de electricidad del auditorio de la comunidad y como no toda la energía será utilizada entonces el excedente se venderá a Comisión Federal de Electricidad.

---

---

## CONCLUSIÓN

En esta sección del trabajo se obtuvieron los cálculos aproximados de las demandas energéticas de la comunidad así como de su escasés de agua, también se identificó el tipo de terreno que propicia la filtración de las aguas pluviales y de deshielo del Ajusco.

La exploración estadística de la población, sus tipos de uso eléctrico y su modus vivendi, dio la pauta para evaluar a la población y contemplar como ayudará el proyecto energético además de proporcionar el vital líquido ya que como se comentaba la energía eléctrica puede ser vendida o suministrada directamente a la red.

Se obtuvo el cálculo del flujo del caudal de los Apapaxtles que ya desde hace algún tiempo se encuentra entubado, así como de la potencia y la turbina que podrá utilizarse para la generación eléctrica. Este capítulo amplía más la visión del porqué se denomina a una central del tipo “Al hilo de Agua”.

---

---

Capítulo IV      FACTIBILIDAD TÉCNICA Y VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO

*Factibilidad es el grado en el que lograr algo es posible o las posibilidades que tiene de lograrse<sup>6</sup>.*

---

<sup>6</sup> Luna, Rafael (1999)

---

---

## **INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se determinará el costo y la viabilidad del proyecto para concluir si existe la posibilidad de que ayude a la población aledaña a la zona de los Apapaxtles, así como un análisis de cuantas emisiones de CO<sub>2</sub> se podrán evitar mediante el proyecto, determinando así el uso de los convenios que se podrían utilizar para la venta de esta energía producida.

### **4.1.-OBRAS DE DERIVACIÓN**

Retomando la información de la conformación de una micro- hidráulica obtenida en el capítulo 2, se propuso la siguiente configuración que será aplicada para la conformación del proyecto “Los Apapaxtles”.

- Obras de derivación
- Bocatoma
- Canal
- Aliviadero
- Cámara de Carga
- Tubería de Presión
- Turbina / Generador

Las obras de derivación fueron realizadas tiempo atrás cuando se decidió dónde estaría enterrada la tubería, por lo que esta obra está fabricada en su mayoría de piedra, mezcla y una pequeña parte de tierra, algunos costales de arena y grava para la contención de la pared de tierra, se mantendrá así para que siga la filtración natural del agua Figura IV-1.

### **4.2.- BOCATOMA**

Esta sección va extremadamente ligada a la obra de derivación, ya que una desvía y la otra capta el flujo del agua, por lo tanto ambas están construidas con tierra y vegetación de la zona.



Figura IV-1.-Obra de derivación y Bocatoma en los Apapaxtles.  
Fuente: Propia

#### 4.3.- CANAL

El tipo de canal será a *Cielo Abierto*, ya que no se le hará ninguna modificación al canal que por geografía natural se encuentra en el sitio Figura IV-2, por lo tanto no generara gasto alguno para el proyecto.



Figura IV-2.-Canal a Cielo Abierto de los Apapaxtles.  
Fuente: propia

---

#### 4.4.- ALIVIADERO

Como sabemos el aliviadero tiene una función de desfogue para cuando el caudal haya sobrepasado el diseño, en este caso no construiremos un aliviadero, utilizaremos como aliviadero el sendero y propio cause del rio el cual por la permeabilidad del piso será absorbida y será suficiente para no sobrepasar los límites de la población Figura IV-3.



Figura IV-3.-Aliviadero de los Apapaxtles.  
Fuente: Propia

#### 4.5.- CÁMARA DE CARGA

La cámara de carga actuará con una doble función, regulará la velocidad del agua y eliminará por sedimentación algún tipo de material extraño para que no pase directamente a la tubería de presión así como también a la turbina.

Para cuando se decidió modificar el proyecto de abastecimiento de agua a generación y abastecimiento, ya se había realizado un tipo de cámara de carga denominado cisterna, como se puede observar en la siguiente Figura IV-4.



**Figura IV-4.-Cámara de carga de los Apapaxtles.**  
**Fuente: propia**

Por lo que no habrá necesidad de construcción ni modificación de la misma, porque los valores de flujo y presión antes mencionados (capítulo 3) fueron tomados en función de las obras ya realizadas por los comuneros.

#### **4.6.- TUBERÍA DE PRESIÓN**

Esta sección será la que transporte el agua a la turbina y la que repartirá el agua a la comunidad, pero como tal no es una tubería de presión, es denominada una manguera de plástico negro para agua potable, y como normalmente se calcula el diámetro de la tubería en función del flujo del río; aquí se hizo lo contrario, primero se entubo la mayor parte del río y después se calculó el flujo del río. Por lo tanto será utilizada la misma manguera para que ésta sea la que ingrese a la turbina.



**Figura IV-5.-Tubería de los Apapaxtles.**  
**Fuente: propia**

En total son 3 manguera de un diámetro de 0.11" las que abastecen de agua que al llegar a la turbina se hará un copleé de las 3 para obtenerla presión calculada (capítulo 3).

#### **4.7.- TURBINA / GENERADOR**

La turbina y el generador deberán cumplir con las expectativas de la generación que en el capítulo 3 fue calculado, por lo que se averiguaron las características más similares para poder adaptarla a las necesidades de la micro-hidroeléctrica, a continuación se presenta la turbina y generador elegidos.

Características de la turbina Turgo

La micro - hidroeléctrica de 1100 W doble inyección, tamaño 4":

- equipo válvulas,
- el disipador de energía
- sistema de control de voltaje y frecuencia.
- Produce 1100 W con 110 VAC/60 Hz a partir de una caída de 15 m y caudal de 10 l/s
- Coste aproximado de 2250 USD



**Figura IV-6.-Turbina Turgo de 110 KW.  
Fuente: Pro Viento.ec**



**Figura IV-7.-Ejemplo de conexión de la turbina  
Fuente: Pro Viento.ec**

#### **4.8.- CASA DE MAQUÍNAS**

La casa de máquinas estará conformada de un piso de 20 [m] x 10 [m] x 4[m], estará ubicada aguas abajo, cerca de la calle Pirámide donde existe el terreno ideal para la construcción de la casa de máquinas, ésta será la construcción con el mayor impacto en el presupuesto, ya que para protección de los equipos será construida de paredes de ladrillo y una losa de concreto, así como los cimientos serán de hormigón.

---

---

## 4.9.- EVALUACIÓN ECONÓMICA

### Factibilidad técnica

Es una evaluación que demuestre que el negocio puede ponerse en marcha y mantenerse, mostrando evidencias de que se ha planeado cuidadosamente, contemplado los problemas que involucra y mantenerlo en funcionamiento.

### Viabilidad económica

Debe mostrarse que el proyecto es factible económicamente, lo que significa que la inversión que se está realizando es justificada por la ganancia que se generará. Para ello es necesario trabajar con un esquema que contemple los costos y las ventas

**Costos:** Debe presentarse la estructura de los costos contemplando costos fijos y variables.

**La evaluación económica:** está dada bajo las características de una obra que ya ha tenido un avance significativo por lo que solo se analizaran las obras civiles necesarias de remodelación y ampliación así como materiales, máquinas y mano de obra a utilizar.

**Tasa de inflación:** Es el incremento generalizado de los precios de bienes y servicios con relación a una moneda, durante un periodo de tiempo determinado. Este valor se expresa en porcentaje.

**Flujo efectivo o flujo de caja (FNE):** Son los flujos de entradas y salidas de efectivo, en un periodo dado. Constituye un indicador importante de la liquidez dentro de una empresa.

**Tasa de descuento TREMA:** Representa un balance entre el riesgo y la posible ganancia de la utilización de una suma de dinero en una situación y tiempo determinado. Es la tasa de rendimiento mínimo aceptable. Su valor siempre estará basado en el riesgo que corra la empresa en forma cotidiana en sus actividades productivas y mercantiles. La fórmula para calcularla es:

$$TREMA = Tasa\ pasiva + Tasa\ por\ riesgo \dots \text{Ecuación IV-1}$$

La tasa pasiva es el porcentaje que paga una institución bancaria a quien deposita dinero mediante cualquiera de los instrumentos que para tal efecto existen. La tasa por riesgo es la tasa evaluada por el riesgo del proyecto; es decir, indica el crecimiento real del patrimonio de la empresa.

---

---

**Valor presente neto (VPN):** Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto. Se calcula de la siguiente manera:

$$VPN = -P + \sum_{i=1}^n \frac{FNE_i}{(1+tasa\ de\ interés\ TREMA)^i} \dots Ecuación\ IV-2$$

*Dónde:*

*P = Inversión inicial*

*FNE = Flujo efectivo*

*i = número de periodos*

Tasa interna de retorno (TIR): Es la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero ó es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial, el resultado es cero. Se le llama tasa interna de rendimiento porque supone que el dinero que se gana año con año se reinvierte en su totalidad. Esto es:

$$VPN = \sum_{i=1}^n \frac{FNE_i}{(1+tasadeinterésTIR)^i} - P = 0 \dots Ecuación\ IV-3$$

*Dónde:*

*VPN = Valor presente neto*

*P = Inversión inicial*

*FNE = Flujo efectivo*

*i = número de periodos*

Utilizaremos estas fórmulas en Excel para realizar la serie de 20 años y sea más eficiente con los datos recabados.

- El precio de la energía<sup>7</sup> que se estima es de **\$0.765 kWh** en la tarifa 1ª de CFE<sup>8</sup>.
- El tipo de cambio peso mexicano por cada dólar usado es de \$12.90<sup>9</sup>.
- La tasa de inflación anual es de 3.5 % según el banco de México en abril 2013<sup>10</sup>

**Ahorro de Energía = Generación Anual \* Precio de la energía ... Ecuación IV-4**

$$\text{Ahorro de energía} = 542,340 * 0.765 = 414,890 \left[ \frac{kWh}{año} \right] \dots \dots \text{Ecuación IV-5}$$

$$\text{Demanda} = \frac{\text{Ahorro de energía}}{\text{Horas de operación por año}} \dots \dots \dots \text{Ecuación IV-6}$$

$$\text{Demanda} = \frac{414,890 \left[ \frac{kWh}{año} \right]}{8760 \left[ \frac{hrs}{año} \right]} = 47.361 [kWh] \dots \dots \dots \text{Ecuación IV-7}$$

**Análisis de costos**

ANÁLISIS DE PRECIO				
Obra de Civil				
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
<b>Materiales</b>				
Alambrón	rollo	2.00000	\$27500	\$ 55,000
Cemento Tolteca	Ton	10.00000	\$ 7900	\$ 79,000
Varilla ½"	Ton	10.00000	\$15,000	\$150,000
Arena	Camión	5.00000	\$3,000	\$15,000
<b>Herramienta</b>				
Picos, palas, carretilla.	pieza	20.00000	\$ 324.60	\$ 6,492
Maquinaria pesada	unidad	3.00000	\$3857.50	\$ 11572.50
Subtotal sin IVA				\$266,334.18MN
IVA				\$ 50,730.32 MN
TOTAL				\$ 317,064.5 MN

Tabla IV-1.-Precios y Costos Civiles  
Fuente: Propia<sup>11</sup>

**Costos**

**Obra Civil..... \$ 317,064.5 MN**

**Equipo Electromecánico.....\$145,100 MN<sup>12</sup>**

<sup>7</sup> Es el valor de compra de la energía con respecto a la tarifa 1° en base al consumo que tendrá

<sup>8</sup> Tarifa CFE-2013.

<sup>9</sup> Banco Nacional de México 2013

<sup>10</sup> Banco Nacional de México Enero- Abril 2013

<sup>11</sup> Anexo D



➤ El análisis de sensibilidad está dado de la siguiente manera:

#### Servicio eléctrico

Tarifa 1a	Precio de la energía	\$	0.765	\$/KWh
-----------	----------------------	----	-------	--------

#### Resultados - Ahorros

Ahorros de energía	414,890	\$/año
--------------------	---------	--------

#### Supuestos de evaluación

Tipo de cambio	\$	12.90	\$/US\$
Tasa de inflación anual		3.90%	
Tasa de descuento TREMA		16.00%	
Expectativa de vida		20	años

#### Inversiones y costos

Inversión del sistema	\$80,000	US\$
costos de operación y mantenimiento	\$1,032,000	\$/año
	\$19,200	USD \$/año
	\$247,680	\$/año

#### Ingresos por emisiones evitadas

ingreso durante 7 años	\$33,256	US\$/año
	\$429,006	\$/año
Anualidad equivalente a 20 años	\$88,099	\$/año
Generación anual	542,340	KWh / año

➤ Calculando

$$\text{Relación Costo – Beneficio} = \frac{VPN_{\text{ahorros}}}{VPN_{\text{inversiónIncial}}} \dots \dots \text{Ecuación IV-16}$$

$$\text{Relación Costo – Beneficio} = \frac{1,513,686}{1,032,000} = 1.46 \approx 1.5[\%] \dots \dots \text{Ecuación IV-17}$$

$$\text{Periodo de Recuperación} = \frac{\log\left(\frac{\text{Costosahorrados}}{\text{Costosahorrados} - VPN_{\text{inversiónIncial}} + TREMA}\right)}{\log(1 + TREMA)} \dots \dots \dots \text{Ecuación IV-18}$$

$$\text{PeriododeRecuperación} = \frac{\log(2.83)}{\log(1.16)} = 7.10 [\text{años}] \dots \dots \text{Ecuación IV-19}$$

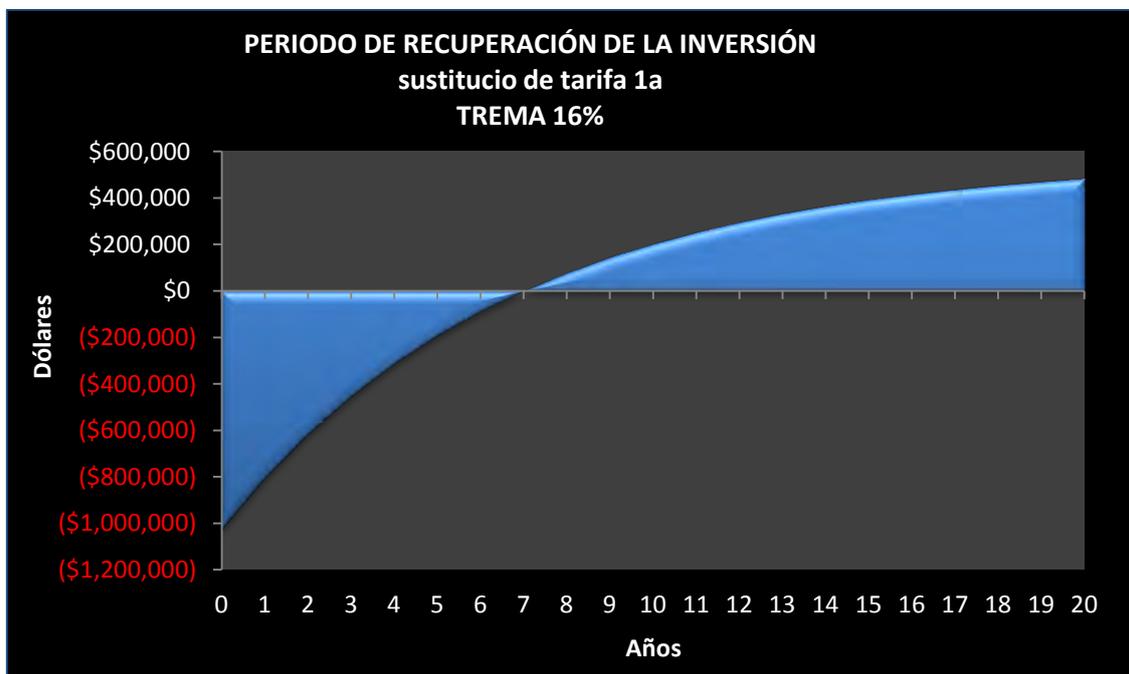
Integrando este análisis se muestran los resultados en la siguiente tabla, y además se muestran para una sensibilidad variando la trema desde 10 hasta 20% para mostrar los márgenes y rangos entre los cuales podrían ubicarse los beneficios al variar este parámetro.

ESQUEMA Micro hidráulico	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD				
	20 20.00%	20 18.00%	20 16.00%	20 10.00%	PERIODO Trema
MONEDA CORRIENTE 2013 Pesos ANUAL					
VPN ahorros	\$1,243,247	\$1,366,604	\$1,513,686	\$2,173,589	
VPN Inversión inicial	\$ 1,032,000	\$ 1,032,000	\$ 1,032,000	1,032,000	\$
Costos Ahorrados	\$ 255,309	\$ 255,309	\$ 255,309	255,309	\$
Valor presente neto	\$211,247	\$334,604	\$481,686	\$1,141,589	\$
Anualidad equivalente	\$43,381	\$62,511	\$81,245	\$134,091	\$/año
Relación Beneficio - Costo	1.20	1.32	1.47	2.11	
TASA INT. DE RENDIM.	24.43%	24.43%	24.43%	24.43%	TIR
Período de recuperación simple	9.06	7.86	7.01	5.43	años
Anualidad de la inversión	\$211,928	\$192,798	\$174,064	\$121,218	\$

Tabla IV-2.- Tabla del análisis de sensibilidad TREMA

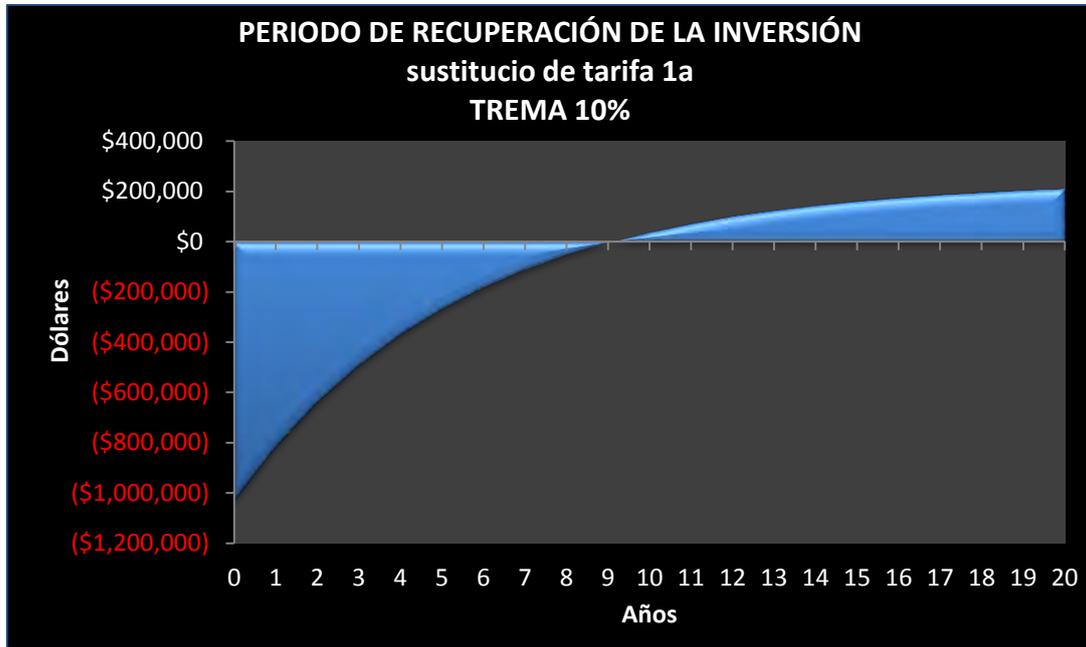
Fuente: propia.

En la siguiente gráfica se muestra cómo se comporta el parámetro de retorno de la inversión, para una tasa de 16%.



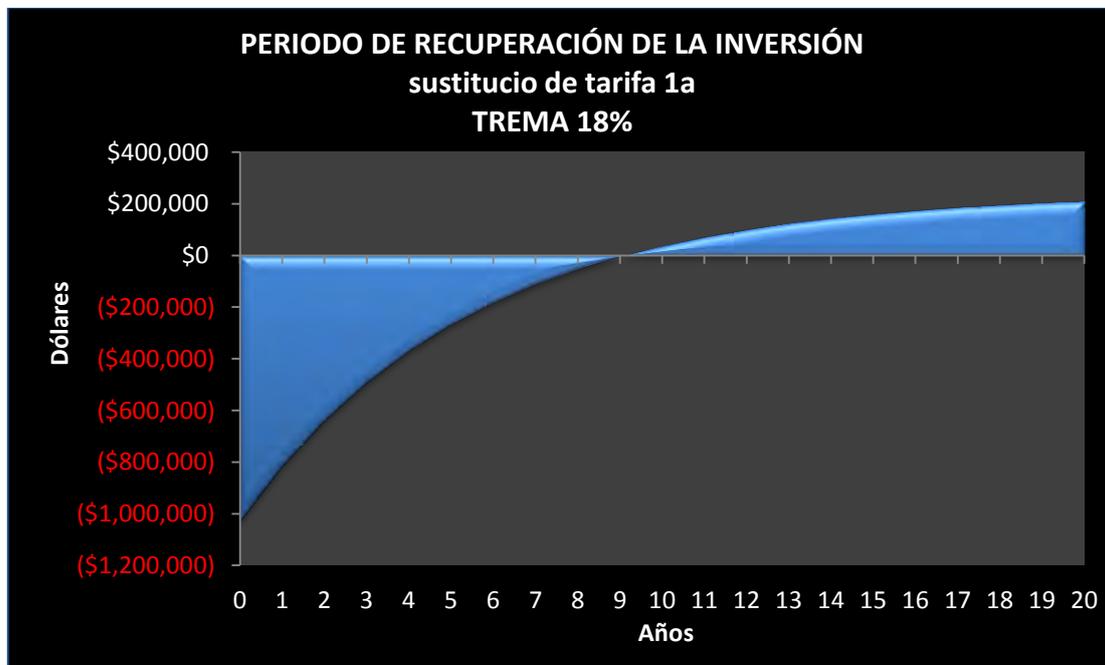
Gráfica IV-1.- Período de Recuperación de la Inversión TIR, para TREMA 16%

Se muestra en la gráfica el período de recuperación de la inversión con una TREMA del 10%.



Gráfica IV-2.- Periodo de Recuperación de la Inversión TIR, para TREMA 10%

Se muestra en la gráfica el periodo de recuperación de la inversión con una TREMA del 18%.

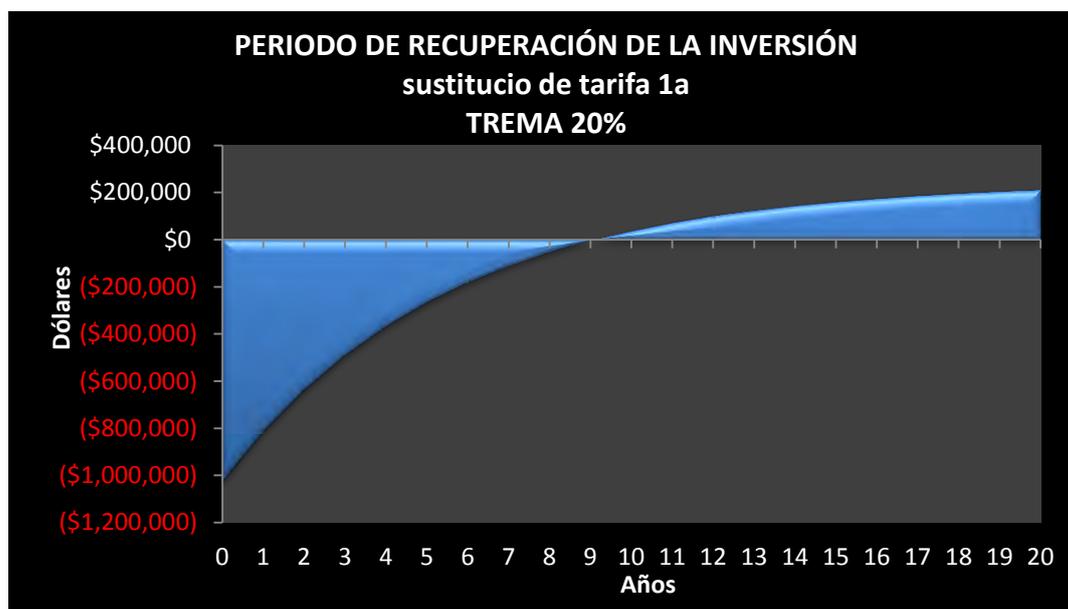


Gráfica IV-3.- Periodo de Recuperación de la Inversión TIR, para TREMA 18%

---

---

En la siguiente gráfica se muestra el periodo de recuperación para una TREMA del 20%.



Gráfica IV-4.- Periodo de Recuperación de la Inversión TIR para TREMA 20%

Con el análisis anterior y las gráficas IV.1, IV.2, IV.3, IV.4, se termina por confirmar que, el mejor porcentaje para una inversión atractiva y en la cual ambas partes salen beneficiados, es la TREMA del 16%.

#### 4.10.-IMPLICACIONES MEDIO AMBIENTALES

Cualquier modificación o implementación al medio ambiente y sobre todo a un área verde requiere de un análisis de afectaciones a su entorno y de cual depende su futuro.

El aprovechamiento de las energías renovables puede, en algunos casos, aumentar el valor económico que proporcionan las selvas, bosques y otras zonas ricas en biodiversidad, y puede por ende aumentar el interés de las poblaciones locales, dueños y poseedores del bosque por su conservación; al incrementar la generación de empleo local y la renta forestal. Esto sucede en particular para el caso de dos tecnologías: los sistemas hidroeléctricos (para cuyo adecuado funcionamiento es necesario asegurar la conservación de la vegetación y de los suelos en las cuencas) y la bioenergía. Existen distintas experiencias positivas en el mundo de cómo los sistemas energéticos pueden contribuir a la conservación de áreas relevantes por su valor ambiental. (Peryn et al., 2008)

Por lo tanto se verificará que el afluente de Los Apapaxtles se procure mantener a la zona protegida para conservar al conjunto de filtraciones que alimentan al riachuelo, así se condiciona para que permanezca lo más natural posible, siendo así, jamás se

---

---

deberá sobre explotar el caudal calculado más allá de éste, ya que de ser así, los efectos serán devastadores para la comunidad, la flora y la fauna del ecosistema, acabando con la fuente que proporciona las filtraciones pluviales y de deshielo.

Estas implicaciones ambientales mencionadas son del tipo local pero también existen las implicaciones generales que son para la tesis los alcances más importantes, ya que se pretende involucrar en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> o gases efecto invernadero (GEI) y en la implementación de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL).

### **Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)**

El Mecanismo de Desarrollo Limpio es un procedimiento contemplado en el Protocolo de Kioto en donde países desarrollados pueden financiar proyectos de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) dentro de países en desarrollo, y recibir a cambio Certificados de Reducción de Emisiones aplicables a cumplir con su compromiso de reducción propio (IPCC, 2001).

### **Bonos de carbono**

Un bono de carbono representa el derecho a contaminar emitiendo una tonelada de dióxido de carbono. Las reducciones de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) se miden en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (CER).

De acuerdo al Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), las emisiones de CO<sub>2</sub>, principalmente derivadas de la quema de combustibles fósiles y del cambio de uso del suelo, son responsables de un 70% del problema del cambio climático (IPCC, 2001).

Para reducir las emisiones derivadas del consumo de combustibles fósiles, la Conferencia de las Partes acordó en Marrakech (2001), que cualquier proyecto energético con fecha de inicio posterior al primero de enero de 2000 sería elegible para su registro y obtención de CERs, siempre y cuando reúna los criterios establecidos por el Consejo Ejecutivo. Los acuerdos de Marrakech establecieron una “vía rápida” (Fast track) para proyectos de pequeña escala. Los proyectos considerados en dicha categoría son:

- Los de energía renovable con una capacidad máxima de 15 Megawatts (MW).
- Los de mejoramiento de eficiencia energética que reduzcan la demanda y/o oferta de energía hasta 15 GWh anuales.

- Otras actividades que reduzcan emisiones por fuente, que directamente emitan menos de 15 mil de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales. (Aquileo, 2004)

Como lo dicta el protocolo de Kioto, México es un Huésped de Proyectos de Mitigación de CO<sub>2</sub> por lo que los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) son aplicables a proyectos renovables y sustentables como los siguientes que han sido aprobados y se encuentran en funcionamiento desde el 2007.

<b>Tipo de Proyectos</b>	<b>Núm. Proyectos</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Reducciones de equivalente (Kton's/año)</b>
<b>MANEJO DE RESIDUOS EN GRANJAS PORCÍCOLAS</b>	88	Aguascalientes, Chihuahua, Chiapas, Coahuila, Durango, Edo. México, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Nayarit, Puebla, Querétaro, Sinaloa, San Luis Potosí, Sonora, Oaxaca, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán.	2,507
<b>MANEJO DE RESIDUOS EN ESTABLOS DE GANADO VACUNO</b>	54	Aguascalientes, Baja California, Chihuahua, Coahuila, Guanajuato, Durango, Jalisco, Nuevo León, Puebla, Querétaro, Sinaloa, Sonora, Tlaxcala	941
<b>METANO DE RELLENOS SANITARIOS</b>	9	Aguascalientes, Chihuahua, Durango, Edo. México, Morelos, Jalisco	1,110
<b>MANEJO DE AGUAS RESIDUALES</b>	1	Sonora	10
<b>ENERGÍA EÓLICA</b>	8	Baja California, Oaxaca	2,216
<b>HIDROELÉCTRICOS</b>	4	Guerrero, Jalisco, Michoacán, Oaxaca	161
<b>INCINERACIÓN HFC-23</b>	1	Nuevo León	2,155
<b>MITIGACIÓN DE N<sub>2</sub>O EN LA INDUSTRIA QUÍMICA</b>	1	Veracruz	103
<b>COGENERACIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b>	9	Edo. México, Hidalgo, Michoacán, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Quintana Roo, Veracruz	703
<b>EMISIONES FUGITIVAS</b>	2	Coahuila, Veracruz	665

TRANSPORTE	1	Distrito Federal	24
TOTAL	178		10,595

Tabla IV-3 Proyectos aprobados por el consejo de los MDL en México  
Fuente: INE, 2012

Dado este preámbulo nos daremos a la tarea de realizar el análisis de dichas emisiones evitadas para sumar este beneficio a la pre-factibilidad del proyecto.

### Emisiones evitadas equivalentes de CO<sub>2</sub> anuales

#### CÁLCULO

De los datos derivados del cálculo de la potencia del proyecto su factor de planta las horas de operación en el año, la generación anual y la eficiencia de la turbina. Del capítulo volvemos a retomarlos para realizar el cálculo de la emisiones equivalentes evitadas en base a la micro-turbina a utilizar.

Comenzaremos con replantear que la micro-hidroeléctrica no consumirá energía por lo que todos los 542,340 kWh/año serán considerados como el consumo anual total de energía que se le aplicará la siguiente conversión para facilitar los cálculos en MWh eléctricos:

$$\frac{\text{Consumo anual de energía del proyecto}_{\text{MWh eléctricos}}}{\text{año}} = \left[ \frac{(\text{Capacidad del motor}) \times (\text{hrs de operación al año}) \times (\text{factor de servicio})}{(1000) \times (\text{eficiencia del motor})} \right] \dots\dots\dots \text{Ecuación IV-20}$$

$$\frac{\text{Consumo anual de energía del proyecto}_{\text{MWh eléctricos}}}{\text{año}} = (542,340 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right]) \times (1000^{-1}) = 542.3 \left[ \frac{\text{MWh}}{\text{año}} \right] \dots\dots \text{Ecuación IV-21}$$

Para continuar con el siguiente cálculo estableceremos dos constantes que son fundamentales para las equivalencias, El *contenido de carbón en el gas natural* que es 15.3 [Tc/TJ] y el *factor de Carbón a CO<sub>2</sub>* que es 3.667 [CO<sub>2</sub>/C] y el *promedio del índice de emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> en la república* (antes y después del año 2001), la cual es 0.584 [tCO<sub>2</sub>/ MWh], habiendo declarado estas constantes se calculará:

$$\frac{\text{Consumo anual de energía del proyecto}_{\text{MWh combustible}}}{\text{año}} = \left( \frac{\text{Consumo anual de energía del proyecto}_{\text{MWh eléctricos}}}{\text{año}} \times \frac{\text{eficiencia de turbinas}}{\dots\dots\dots} \right) \dots\dots\dots \text{Ecuación IV-22}$$

$$\text{Consumo anual de energía del proyecto} \frac{\text{MWh combustible}}{\text{año}} = \left( \frac{542.3 \left[ \frac{\text{MWh eléctricos}}{\text{año}} \right]}{0.38^{-1}} \right) = 1427.2 \left[ \frac{\text{MWh combustible}}{\text{año}} \right]$$

Ecuación IV-23

$$\text{Emisiones anuales equivalentes del proyecto}_i = \left( \text{Consumo anual de energía del proyecto} \frac{\text{MWh combustible}}{\text{año}} \right) \times \left( \text{Contenido de carbón en gas natural} \right) \times \left( \text{Factor de CA en CO}_2 \right) \times \left( \text{Equivalente energético del MWh a TJ} \right)$$

Ecuación IV-24

$$\begin{aligned} \text{Emisiones anuales equivalentes del proyecto}_i &= \left( 542.3 \left[ \frac{\text{MWh eléctrico}}{\text{año}} \right] \right) \times \left( 15.3 \left[ \frac{\text{tC}}{\text{TJ}} \right] \right) \times \left( 3.667 \left[ \frac{\text{CO}_2}{\text{C}} \right] \right) \times \left( 0.003601 \left[ \frac{\text{TJ}}{\text{MWh}} \right] \right) \\ &= 288.32 \left[ \frac{\text{tCO}_2}{\text{año}} \right] \end{aligned}$$

Ecuación IV-25

$$\text{Emisiones anuales reducidas equivalentes del proyecto} = \left( \text{Promedio del índice de emisiones equivalentes de CO}_2 \text{ en la Republica} \right) \times \left( \text{Energía eléctrica desplazada en la republica} \right)$$

Ecuación IV-26

$$\text{Emisiones anuales reducidas equivalentes del proyecto} = \left( 0.854 \left[ \frac{\text{tCO}_2}{\text{MWh}} \right] \right) \times \left( 542.3 \left[ \frac{\text{MWh}}{\text{año}} \right] \right) = 316.76 \left[ \frac{\text{tCO}_2}{\text{año}} \right]$$

Ecuación IV-27

POTENCIA TOTAL DEL PROYECTO	110.0	KW eléctricos
HORAS DE OPERACIÓN POR AÑO	8760	h
FACTOR DE PLANTA	56.00%	
CONTENIDO DE CARBON EN EL GAS NATURAL	15.3	tC/TJ
FACTOR DE C A CO2	3.667	CO2/C
EQUIVALENTE ENERGETICO DEL MWh A TJ	0.003601	TJ/MWh
CONSUMO ANUAL TOTAL DE ENERGIA DEL PROYECTO	542.3	MWh eléctricos/año
CONSUMO ANUAL TOTAL DE ENERGIA DEL PROYECTO	1,427.2	MWhcombustible/año
EMISIONES ANUALES EQUIVALENTES DEL PROYECTO	288.32	tCO2/año
EMISIONES ANUALES REDUCIDAS EQUIVALENTES DEL PROYECTO	316.73	tCO2/año

Tabla IV-4.- Resultados obtenidos en el cálculo de las emisiones evitadas por el proyecto.

Fuente: propia

Por lo consiguiente, el posible ingreso estimado por emisiones evitadas será de 15 USD por tCO<sub>2</sub> equivalente. Por lo que en la siguiente tabla se demuestra las emisiones evitadas durante el plazo brindado por los MDL.

$$\text{Ingreso por emisiones anuales equivalentes} = \frac{\text{Emisiones anuales reducidas equivalentes}}{\text{año}} \times \text{costo tCO}_2 \text{ equivalente}$$

Ecuación IV-28

$$\text{Ingreso por emisiones anuales equivalentes} = 316.73 \left[ \frac{\text{tCO}_2}{\text{año}} \right] \times 15 \left[ \frac{\text{USD}}{\text{tCO}_2} \right]$$

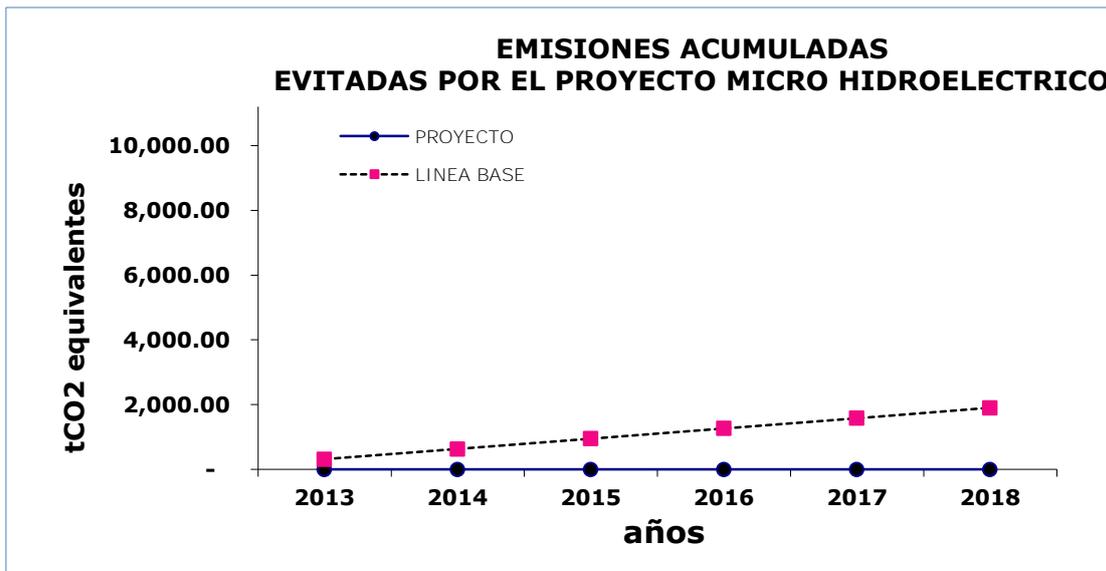
Ecuación IV-29

$$\text{Ingreso por emisiones anuales equivalentes} = 4,750.90 \left[ \frac{\text{USD}}{\text{año}} \right]$$

Ecuación IV-30

Año	INGRESOS EMISIONES	VALOR US\$/tCO <sub>2</sub>	INGRESO \$ / Año
2013	316.726	\$15.00	\$4,750.90
2014	316.726	\$15.00	\$4,750.90
2015	316.726	\$15.00	\$4,750.90
2016	316.726	\$15.00	\$4,750.90
2017	316.726	\$15.00	\$4,750.90
2018	316.726	\$15.00	\$4,750.90
2017	316.726	\$15.00	\$4,750.90
		Total	\$33,256.27

Tabla IV-5.- Acumulación de los ingresos evitados durante el plazo del proyecto  
Fuente: Propia



Gráfica IV-5.- Emisiones acumuladas evitadas por el proyecto.  
Fuente: propia

Como lo demuestra la Gráfica IV-5, las emisiones evitadas durante los 6 primeros años, y sus beneficios propuestos, deberían tener un peso en la factibilidad económica, pero no fue incluida en ella porque este análisis le concierne al comité de aprobaciones de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), que son los encargados de evaluar los proyectos y dictaminar si son viables o no. En nuestro caso es viable para efectos del medio ambiente, ya que de alguna forma se contribuye a su cuidado.

Con los cálculos realizados en el capítulo obtuvimos buenos resultados con respecto a la evaluación económica de la micro central, ya que con los valores analizados se considera un buen escenario para llevar a cabo el proyecto, ya que como se comentó en el capítulo 2, en la sección de permisos y contratos la micro central cumple con todos los lineamientos, además que entra en perfecta condición a ser un permisionario en pequeña producción de energía eléctrica como anteriormente se había comentado en el capítulo 3, cumpliendo con uno de los objetivos principales de esta tesis, beneficiar a la comunidad.

## CONCLUSIÓN

El objetivo del capítulo fue realizado satisfactoriamente al realizar los análisis sustentabilidad económica y factibilidad del sistema, ya que en el análisis de las emisiones equivalentes evitadas durante los primeros 6 años haciendo poco más de 2000 emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>, que si bien no es mucho es de alguna manera una contribución a no contaminar.

Con respecto a los resultados económicos arrojados se cree que el periodo de retorno de recuperación TIR, tiene un buen promedio, para los inversionistas y los beneficiarios. El planteamiento de la central resultó conveniente, ya que con los trabajos previos se pudo hacer un buen complemento a nuestro diseño.

---

---

## CONCLUSIÓN

El desarrollo de esta tesis profundizó en el tema de la pequeña generación y cómo pueden ser desarrolladas las micro centrales hidroeléctricas, con mayor facilidad, sin tantos lineamientos con las actuales reformas energéticas en energía renovable, dando como resultado la factibilidad económica y técnica de dicho proyecto, que no solo evita el desabasto de agua, sino que también provee de energía eléctrica como permisionario de pequeña producción de energía eléctrica, ya que puede ser vendida en su totalidad a la Comisión Federal de Electricidad, o bien como indica el inciso C de la ley de Obra Pública Energética que puede entrar en la modalidad de suministrar en su totalidad la energía eléctrica a la comunidad rural o áreas aisladas que carezcan de la misma, siendo ésta una sociedad civil de autoconsumo.

Otro de los objetivos cumplidos propuestos fue el cálculo de la emisiones evitadas por el sistema de generación que año con año, desde su inicio de operación, podrá evitar 316.76 tCO<sub>2</sub>/año, que si bien no parece mucho, pero que en la suma con los demás proyectos que ingresen o ya se encuentren en el sistema de Mecanismo de Desarrollo Limpio podrá ser una diferencia en la suma de las emisiones evitadas anuales totales en la República Mexicana.

En el contexto económico hay que destacar que los valores con los que se realizaron las cotizaciones y el tipo de cambio monetario fueron dados con los más altos costos, esto con el fin de obtener la mayor inversión y ver qué tan viable era el proyecto. Por lo que si con los valores en el mercado encontramos un mejor precio, la inversión y el tiempo de recuperación de esta sería menos. Se pone a consideración de la comunidad y de la sociedad civil de los comuneros de Los Apapaxtles dicho proyecto para su benefició, aunque en el caso de la aceptación, la última palabra la tendrán, el comité de Mecanismos de Desarrollo Limpio en México, que otorgará el permiso como pequeño productor, y la Comisión Federal de Electricidad como comprador de los excedentes de la producción, con base en sus lineamientos.

Una de las recomendaciones para el proyecto que es el personal que integrará la sociedad civil que deberá tener conocimiento técnico mínimo para hacer uso del sistema, conocer el área para su conservación y ser residente de la comunidad, para que entre correctamente en el marco regulatorio de pequeño productor. Esta sociedad se encargará de ser la representante, y de igual forma de ser responsable del entorno ecológico, técnico, administrativo, social, y de mantenimiento del proyecto.

Algo muy interesante en el estudio de las mini centrales es su diversidad de diseños y materiales, con lo que se pueden conformar, ya que cada micro central será muy diferente a otra, siendo esto una ventaja para que en dado caso de que por alguna razón el flujo del agua o su situación geográfica cambie, ésta siga conservando sus características, ya sea ampliándola o construyendo un embalse.

---

---

Es conocido que la Ciudad de México por mucho tiempo ha sufrido de desabasto de agua, así que se ve de manera poco viable que algún día el suministro llegue correctamente a la comunidad, por lo que deberá cuidar su entorno ambiental para poder seguir teniendo estas filtraciones que de alguna manera el proyecto obliga a mantener en su estado natural. No se debe olvidar el pequeño balance que hay entre un suelo fértil y uno en sequía, por lo tanto así se estaría cumpliendo el objetivo de cuidar el medioambiente. Este proyecto fue tomado y diseñado para ayudar a evitar el calentamiento global, teniendo como consecuencia proveer agua y energía eléctrica limpia.

Se considera exitoso el análisis de factibilidad técnica- económica de la generación de energía eléctrica en base a una micro turbina en Los Apapaxtles, porque arroja resultados positivos y alentadores en los ámbitos social, ambiental y jurídico, saliendo todos beneficiados.

## **RECOMENDACIONES**

Se debe considerar para cualquier desarrollo de fuentes de generación en pequeña escala, los cambios ejercidos en la presente reforma energética 2013, porque los proyectos pueden ser beneficiados o cambiar con respecto a las regulaciones establecidas o por establecerse.

Considerar, que hay una gran diversidad de diseños para centrales mini y micro hidroeléctricas, por lo que hay que tener en cuenta, sus elementos básicos, antes mencionados para rediseñar o bien hacer una nueva propuesta de la central de generación.

También se debe considerar en los análisis de costos todos los permisos de obra y construcción, ya que este costo tiende a dejarse rezagado, así como la variación de los precios de los materiales civiles, que tienden a ser muy variables.

---

---

## NOMENCLATURA.

$\eta$	Eficiencia
\$	Pesos Mexicanos
%	Porcentaje
°C	Grado centígrado
A	Amperes
C	Carbón
C.C.E	Costo de consumo de energía eléctrica
C.E.	Consumo de Energía Eléctrica
CA	Corriente Alterna
cal	Caloría
CC	Corriente Continua
CD	Corriente Directa
CER	Certificados de Emisiones Reducidas
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CONAE	Comisión Nacional de Ahorro Energético
CRE	Comisión Reguladora de Energía
FIDE	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica
FNE	Flujo efectivo ó flujo de caja
FP	Factor de potencia
F <sub>s</sub>	Factor de Servicio
GEI	Gases de efecto invernadero
HP	Caballo de potencia
hrs	Horas
H-S	Tarifa horaria para servicio general en alta tensión
HZ	Hertz
I	Corriente
IEA	Agencia Internacional de Energía
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
I <sub>n</sub>	Corriente nominal
J	Joule

---

kVA	Kilovolt ampere
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt hora
LOG	Logaritmo
m	Metros
M.N.	Moneda Nacional
M.S.N.M	Metros Sobre el Nivel del Mar
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
mm	Milímetros
Mtep	Millones de Toneladas de Petróleo
NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos Eléctricos
NOM	Norma Oficial Mexicana
ONU	Organización de las Naciones Unidas
P	Inversión inicial
P	Potencia
pulg	Pulgadas
Q	Calor
R	Resistencia del conductor
SI	Sistema Internacional de Unidades
t	Tiempo
t <sub>c</sub>	Tipo de cambio
tC	Toneladas de carbón
TIR	Tasa interna de retorno
TREMA	Tasa de rendimiento mínimo aceptable
USD	Dólares Americanos
V	Tensión
V	Volts
VPN	Valor presente neto
MWh	Megawatt hora
tCO <sub>2</sub> e	Toneladas de dióxido de carbono equivalente

---

---

---

## ANEXOS

### ANEXO A

Datos Estadísticos del INEGI, 2010

<b>ELEMENTO</b>	<b>1654 Total de Hogares Censales 240</b>
Viviendas sin ningún bien (lavadora, automóvil, refrigerador)	31
Viviendas Que disponen de un refrigerador	180
Viviendas Que disponen de Lavadora	169
Viviendas Que disponen de Radio	215
Viviendas Que disponen de Televisión	234
Viviendas Que disponen de Computadora	86
Viviendas Que NO Tiene ni luz, ni agua,	86
Viviendas que Si tienen luz agua entubada	1260
Viviendas que No tienen agua entubada	180
Viviendas que No tienen lavadora ni Refrigerador	33
Viviendas que Si Tienen luz eléctrica	238
Viviendas que No tienen AGUA	134
Viviendas que No tienen LUZ	134

---

---

## ANEXO B

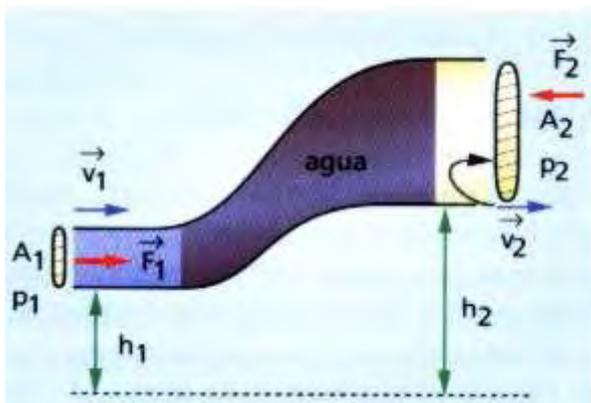
Enríquez, Gilberto Enríquez Harper

Manual de instalaciones eléctricas e industriales

Anexo de teoremas

Teorema de Bernoulli de Caudales y flujos

A continuación estudiaremos la circulación de fluidos incompresibles, de manera que podremos explicar fenómenos tan distintos como el vuelo de un avión o la circulación del humo por una chimenea. El estudio de la dinámica de los fluidos fue bautizada hidrodinámica por el físico suizo Daniel Bernoulli, quien en 1738 encontró la relación fundamental entre la presión, la altura y la velocidad de un fluido ideal. El teorema de Bernoulli demuestra que estas variables no pueden modificarse independientemente una de la otra, sino que están determinadas por la energía mecánica del sistema.



Supongamos que un fluido ideal circula por una cañería como la que muestra la figura. Concentremos nuestra atención en una pequeña porción de fluido  $V$  (coloreada con celeste): al cabo de cierto intervalo de tiempo  $\Delta t$  (delta t), el fluido ocupará una nueva posición (coloreada con rojo) dentro de la Al

cañería. ¿Cuál es la fuerza "exterior" a la porción  $V$  que la impulsa por la cañería?

Sobre el extremo inferior de esa porción, el fluido "que viene de atrás" ejerce una fuerza que, en términos de la presión  $p_1$ , puede expresarse como  $p_1 \cdot A_1$ , y está aplicada en el sentido del flujo. Análogamente, en el extremo superior, el fluido "que está adelante" ejerce una fuerza sobre la porción  $V$  que puede expresarse como  $p_2 \cdot A_2$ , y está aplicada en sentido contrario al flujo. Es decir que el trabajo ( $T$ ) de las fuerzas no conservativas que están actuando sobre la porción de fluido puede expresarse en la forma:

$$T = F_1 \cdot D_{x1} - F_2 \cdot D_{x2} = p_1 \cdot A_1 \cdot D_{x1} - p_2 \cdot A_2 \cdot A_{x2}$$

Si tenemos en cuenta que el fluido es ideal, el volumen que pasa por el punto 1 en un tiempo  $\Delta t$  (delta t) es el mismo que pasa por el punto 2 en el mismo intervalo de tiempo (conservación de caudal). Por lo tanto:

$$V = A_1 \cdot D_{x1} = A_2 \cdot D_{x2} \text{ entonces } T = p_1 \cdot V - p_2 \cdot V$$

El trabajo del fluido sobre esta porción particular se "invierte" en cambiar la velocidad del fluido y en levantar el agua en contra de la fuerza gravitatoria. En otras palabras, el trabajo de las fuerzas no conservativas que actúan sobre la porción del fluido es igual a la variación de su energía mecánica. Tenemos entonces que:

$$T = \Delta E_{\text{cinética}} + \Delta E_{\text{potencial}} = (E_{c2} - E_{c1}) + (E_{p2} - E_{p1})$$

$$p_1 \cdot V - p_2 \cdot V = (1/2 \cdot m \cdot V_2^2 - 1/2 \cdot m \cdot V_1^2) + (m \cdot g \cdot h_2 - m \cdot g \cdot h_1)$$

Considerando que la densidad del fluido está dada por  $d = m/V$  podemos acomodar la expresión anterior para demostrar que:

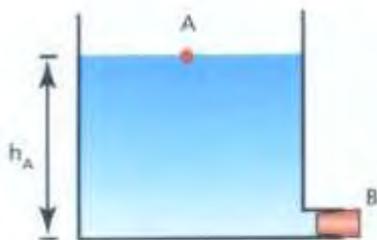
$$P_1 + 1/2 \cdot d \cdot V_1^2 + d \cdot g \cdot h_1 = P_2 + 1/2 \cdot d \cdot V_2^2 + d \cdot g \cdot h_2$$

Noten que, como los puntos 1 y 2 son puntos cualesquiera dentro de la tubería, Bernoulli pudo demostrar que la presión, la velocidad y la altura de un fluido que circula varían siempre manteniendo una cierta cantidad constante, dada por:

$$\mathbf{p + 1/2 \cdot d \cdot V^2 + d \cdot g \cdot h = constante}$$

### Aplicación del Teorema de Bernoulli

#### EL TEOREMA DE TORRICELLI



Consideremos un depósito ancho con un tubo de desagote angosto como el de la figura. Si destapamos el caño, el agua circula. ¿Con qué velocidad? ¿Cuál será el caudal? En A y en B la presión es la atmosférica  $P_A = P_B = P_{\text{atm}}$ . Como el diámetro del depósito es muy grande respecto del diámetro del caño, la velocidad con que desciende

la superficie libre del agua del depósito es muy lenta comparada con la velocidad de salida, por lo tanto podemos considerarla igual a cero,  $V_A = 0$

---

---

La ecuación de Bernoulli queda entonces:

$$\rho \cdot g \cdot h_A + \rho \cdot p_A = \rho \cdot g \cdot h_B + \rho \cdot p_B$$

Entonces es:

$$\rho \cdot g \cdot h_A = \rho \cdot \frac{1}{2} \cdot v_B^2 + \rho \cdot g \cdot h_B \text{ de donde } v_B^2 = 2 \cdot g \cdot (h_A - h_B)$$

De donde se deduce que:

$$\mathbf{v_B^2 = 2 \cdot g(h_A - h_B)}$$

Este resultado que se puede deducir de la ecuación de Bernoulli, se conoce como el teorema de Toricelli, quien lo enunció casi un siglo antes de que Bernoulli realizara sus estudios hidrodinámicos. La velocidad con que sale el agua por el desagote es la misma que hubiera adquirido en caída libre desde una altura  $h_A$ , lo que no debería sorprendernos, ya que ejemplifica la transformación de la energía potencial del líquido en energía cinética

---

---

## ANEXO C

### Servicio doméstico

#### 1.- Aplicación

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda.

Estos servicios sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa de uso general.

2.- Cuotas aplicables en  de  
el mes de  2013.

#### Cargos por energía consumida

Consumo básico		por cada uno de los primeros 75 (setenta y cinco)
	\$ 0.765	kilowatts-hora.
Consumo intermedio		por cada uno de los siguientes 65 (sesenta y cinco)
	\$ 0.936	kilowatts-hora.
Consumo excedente		por cada kilowatt-hora adicional a los anteriores.
	\$ 2.736	

3. Mínimo mensual El equivalente a 25 (veinticinco) kilowatts-hora.

#### 4.- Depósito de garantía

El importe que resulte de aplicar el cargo por energía del consumo básico del numeral 2 a los consumos mensuales que se indican, según los casos:

100 (cien) kilowatts-hora para los servicios suministrados con 1 hilo de corriente.

300 (trescientos) kilowatts-hora para los servicios suministrados con 2 hilos de corriente.

350 (trescientos cincuenta) kilowatts-hora para los servicios suministrados con 3 hilos de corriente.



**ACERO SANTORO**  
EN ACERO LA MEJOR OPCION



ANEXO D

A QUIEN CORRESPONDA:

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe c/IVA
<b>Materiales</b>				
Alambrón	rollo	2.00000	\$27500	\$ 55,000
Cemento Tolteca	Ton	10.00000	\$ 7900	\$ 79,000
Varilla ½"	Ton	10.00000	\$15,000	\$150,000
Arena	Camión	5.00000	\$3,000	\$15,000
<b>Herramienta</b>				
Picos, palas, carretilla.	pieza	20.00000	\$ 324.60	\$ 6,492
Maquinaria pesada	unidad	3.00000	\$3857.50	\$ 11572.50
Subtotal sin IVA\$ 266,334.18 MN				
IVA			\$ 50730.32 MN	
TOTAL			\$ 317,064.5 MN	

---

---

## ANEXO E

### Ley para el aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.

**Artículo 18.-** El Sistema Eléctrico Nacional recibirá la electricidad producida con energías renovables excedentes de proyectos de autoabastecimiento o por proyectos de cogeneración de electricidad, de conformidad con lo establecido en el artículo 36 bis de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y conforme a lo señalado en el presente ordenamiento.

Los Generadores se sujetarán a las condiciones que establezca la Comisión para los servicios de conducción, transformación y entrega de energía eléctrica, de conformidad con lo dispuesto por la Ley de la Comisión Reguladora de Energía.

### Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica

**ARTICULO 36.-** La Secretaría de Energía considerando los criterios y lineamientos de la política energética nacional y oyendo la opinión de la Comisión Federal de Electricidad, otorgará permisos de autoabastecimiento, de cogeneración, de producción independiente, de pequeña producción o de importación o exportación de energía eléctrica, según se trate, en las condiciones señaladas para cada caso:

*Párrafo reformado DOF 09-04-2012*

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

*Párrafo reformado DOF 09-04-2012*

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

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

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

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

**b)** El solicitante se obligue a poner sus excedentes de producción de energía eléctrica a la disposición de la Comisión Federal de Electricidad, en los términos del artículo 36-Bis.**III.-** De Producción Independiente para generar energía eléctrica destinada a su venta a la Comisión Federal de Electricidad, quedando ésta legalmente obligada a adquirirla en los términos y condiciones económicas que se convengan. Estos permisos podrán ser otorgados cuando se satisfagan los siguientes requisitos:

**a)** Que los solicitantes sean personas físicas o personas morales constituidas conforme a las leyes mexicanas y con domicilio en el territorio nacional, y que cumplan con los requisitos establecidos en la legislación aplicable;

**b)** Que los proyectos motivo de la solicitud estén incluidos en la planeación y programas respectivos de la Comisión Federal de Electricidad o sean equivalentes. La Secretaría de Energía conforme a lo previsto en la fracción III del artículo 3o., podrá otorgar permiso respecto de proyectos no incluidos en dicha planeación y programas, cuando la producción de energía eléctrica de tales proyectos haya sido comprometida para su exportación, y

*Inciso reformado DOF 09-04-2012*

---

c) Que los solicitantes se obliguen a vender su producción de energía eléctrica exclusivamente a la Comisión Federal de Electricidad, mediante convenios a largo plazo, en los términos del artículo 36-Bis o, previo permiso de la Secretaría en los términos de esta Ley, a exportar total o parcialmente dicha producción.

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

**a)** Que los solicitantes sean personas físicas de nacionalidad mexicana o personas morales constituidas conforme a las leyes mexicanas y con domicilio en el territorio nacional, y que cumplan con los requisitos establecidos en la legislación aplicable;

**b)** Que los solicitantes destinen la totalidad de la energía para su venta a la Comisión Federal de Electricidad. En este caso, la capacidad total del proyecto, en un área determinada por la Secretaría, no podrá exceder de 30 MW; y

**c)** Alternativamente a lo indicado en el inciso b) y como una modalidad del autoabastecimiento a que se refiere la fracción I, que los solicitantes destinen el total de la producción de energía eléctrica a pequeñas comunidades rurales o áreas aisladas que carezcan de la misma y que la utilicen para su autoconsumo, siempre que los interesados constituyan cooperativas de consumo, copropiedades, asociaciones o sociedades civiles, o celebren convenios de cooperación solidaria para dicho propósito y que los proyectos, en tales casos, no excedan de 1 MW;

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

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

**1)** El ejercicio autorizado de las actividades a que se refiere este artículo podrá incluir la conducción, la transformación y la entrega de la energía eléctrica de que se trate, según las particularidades de cada caso;

**2)** El uso temporal de la red del sistema eléctrico nacional por parte de los permisionarios, solamente podrá efectuarse previo convenio celebrado con la Comisión Federal de Electricidad, cuando ello no ponga en riesgo la prestación del servicio público ni se afecten derechos de terceros. En dichos convenios deberá estipularse la contraprestación en favor de dicha entidad y a cargo de los permisionarios;

**3)** La Secretaría de Energía oyendo la opinión de la Comisión Federal de Electricidad, podrá otorgar permiso para cada una de las actividades o para ejercer varias, autorizar la transferencia de los permisos e imponer las condiciones pertinentes de acuerdo con lo previsto en esta Ley, su reglamento y las Normas Oficiales Mexicanas, cuidando en todo caso el interés general y la seguridad, eficiencia y estabilidad del servicio público;

*Inciso reformado DOF 09-04-2012*

**4)** Los titulares de los permisos no podrán vender, revender o por cualquier acto jurídico enajenar capacidad o energía eléctrica, salvo en los casos previstos expresamente por esta Ley; y

**5)** Serán causales de revocación de los permisos correspondientes, a juicio de la Secretaría de Energía, el incumplimiento de las disposiciones de esta Ley, o de los términos y condiciones establecidos en los permisos respectivos.

*Inciso reformado DOF 09-04-2012 Artículo reformado DOF 27-12-1983, 23-12-1992*

**ARTICULO 36 BIS.** Para la prestación del servicio público de energía eléctrica deberá aprovecharse tanto en el corto como en el largo plazo, la producción de energía eléctrica que resulte de menor costo para la Comisión Federal de Electricidad, considerando para ello las externalidades ambientales para cada tecnología, y que ofrezca, además, óptima estabilidad, calidad y seguridad del servicio público, a cuyo efecto se observará lo siguiente:

*Párrafo reformado DOF 01-06-2011*

**I.** Con base en la planeación del Sistema Eléctrico Nacional elaborada por la Comisión Federal de Electricidad, la Secretaría de Energía determinará las necesidades de crecimiento o de sustitución de la capacidad de generación del sistema;

*Fracción reformada DOF 09-04-2012*

**II.-** Cuando dicha planeación requiera la construcción de nuevas instalaciones de generación de energía eléctrica, la Comisión Federal de Electricidad informará de las características de los proyectos a la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal. Con base en criterios comparativos de costos, dicha Dependencia determinará si la instalación será ejecutada por la Comisión Federal de Electricidad o si se debe convocar a particulares para suministrar la energía eléctrica necesaria;

**III.-** Para la adquisición de energía eléctrica que se destine al servicio público, deberá considerarse la que generen los particulares bajo cualesquiera de las modalidades reconocidas en el artículo 36 de esta Ley;

**IV.-** Los términos y condiciones de los convenios por los que, en su caso, la Comisión Federal de

---

---

Electricidad adquiera la energía eléctrica de los particulares, se ajustarán a lo que disponga el Reglamento, considerando la firmeza de las entregas; y

**V.** Las obras, instalaciones y demás componentes serán objeto de Normas Oficiales Mexicanas o autorizadas previamente por la Secretaría de Energía.

*Fracción reformada DOF 09-04-2012 Artículo adicionado DOF 23-12-1992*

---

---

## BIBLIOGRAFÍA

1. Alatorre Frenk, Claudio , (2009 ) Energías renovables para el Desarrollo Sustentable en México, México, SENER
2. Ramirez Saúl ET. AL. (2004), Micro Central Hidroeléctrica una alternativa para el desarrollo rural, Lima, ITDG
3. Coz Federico ET, AL, (1996) Manual de Mini y Micro centrales Hidráulicas una guía para el desarrollo de proyectos, Perú,
4. Muguerza D., Micro Centrales Hidroeléctricas ,recuperado: [exa.unne.edu.ar/fisica/maestria/modulo2/microturbinas/apuntemch.pdf](http://exa.unne.edu.ar/fisica/maestria/modulo2/microturbinas/apuntemch.pdf)
5. Valdez Ingenieros (1998), Estimación del Recurso para Pequeña, Mini y Micro Hidroenergía Aplicaciones en México, México Recuperado : [www.sener.gob.mx/webSener/res/168/A8\\_Minihi.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/168/A8_Minihi.pdf)
6. Renewable Energy House,(2010) Rural Electrification with renewable Energy, Belgica, Recuperado: [www.ruralelec.gob](http://www.ruralelec.gob)
7. INEGI, (2009) ,Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos, (Tlalpan , México) Recuperado: <http://mapserver.inegi.org.mx/mgn2k/>
8. Comisión Interdepartamental del cambio climático,(2011) Guía Práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), Cataluña, Oficina Catalana del cambio Climático.
9. Luna Rafael, (1999), Manual para determinar la Factibilidad Económica de proyectos, Nicaragua, CCAD.
10. Alamo Berrondo Javier ETAL (2008), Apuntes de Máquinas hidráulicas, Escuela Universitaria Politécnica.
11. Torres Roldan Francisco ,(2006) Energías renovables para el desarrollo sustentable en México, recuperado: [www.giz.de/.../sp-energias-renovables-desarrollo-sustentable-mexico.pdf](http://www.giz.de/.../sp-energias-renovables-desarrollo-sustentable-mexico.pdf)
12. CFE,(2010), Especificaciones Técnicas para la interconexión de fuentes distribuidas de pequeña escala, Recuperado : [www.cfe.gob.mx/.../Lists/.../EspecificacionestécnicasPequeñaEscala.pdf](http://www.cfe.gob.mx/.../Lists/.../EspecificacionestécnicasPequeñaEscala.pdf).
13. CRE,(2010) ,Modelo de interconexión para fuente en pequeña escala, Recuperado: [www.cre.gob.mx/documento/2274.pdf](http://www.cre.gob.mx/documento/2274.pdf)

- 
- 
14. González Navarrete N.,(2010), Modelo de contrato para energías renovables y cogeneración eficiente, Recuperado :  
micrositio.[cre.gob.mx/foroenergiasrenovables/documentos/presentaciones/.../03...](http://cre.gob.mx/foroenergiasrenovables/documentos/presentaciones/.../03...)
  15. Intelligent Energy Europe (2006), Guía para el desarrollo de una pequeña central hidráulica, Bélgica, ESHA
  16. BUN-CA, (2002)Manuales sobre energía Renovable, Costa Rica Recuperado:  
[www.bun-ca.org/publicaciones/HIDRA.pdf](http://www.bun-ca.org/publicaciones/HIDRA.pdf)
  17. CONAE (1995), Evaluación económica, México, CONAE
  18. Castro Adriana,(2006), Micro centrales Hidroeléctricas, Madrid, IDEA
  19. IEA (2010), Key world energy statistics, Paris, recuperado: [www.iea.org](http://www.iea.org)
  20. Penche Celso, (1998), Manual para una pequeña hidráulica Madrid, Comisión Europea.
  21. CONAE (1999), Mini hidráulica, México: CONAE
  22. Marin Ureña J.M., 2007, Estudios de Costos de instalación de sistemas de pico y micro hidroeléctricos 100 W a 100kW, (tesis Inédita de licenciatura), Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
  23. CFE, (2008), POISE, México, CFE.
  24. SENER, (2010), Prospectiva para el sector eléctrico 2010-2025, México, Recuperado : [www.energia.gob.mx](http://www.energia.gob.mx)
  25. IEA, (2007) Manual de Estadísticas Energéticas, EUROSTAT, OCDE
  26. Enríquez Harper. G. (2006) Manual de Instalaciones Eléctricas e Industriales, México, LIMUSA
  27. Pérez Amador, V. (1994). *Generadores, motores y transformadores*. México, UNAM.

---

---

## REFERENCIAS

1. <http://www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/estadisticas/listadocentralesgeneradoras/Paginas/listadohidroelectricas.aspx>
2. <http://www.conagua.gob.mx/atlas/atlas.html?seccion=0&mapa=8#>
3. <http://www.layerlin.org/participar.html> (para gestiones , tiene Excel programado para cálculos)
4. <http://www.cfe.gob.mx/sustentabilidad/energiarenovable/Documents/Especificacionest%C3%A9cnicasPeque%C3%B1aEscala.pdf> (para especificaciones de carga energética cap 4)
5. <http://worldinbalance.net/pdf/1987-brundtland.pdf>
6. <http://books.google.com.mx/books?id=fonShskIaNEC&pg=PA54&dq=energias+++en+++peque%C3%B1a+escala&hl=es#v=onepage&q&f=false> libro de MDL a pequeña escala
7. <http://www.cambioclimatico.gob.do/eng/es/Informaci%C3%B3nB%C3%A1sicasobreMDL/ProyectosMDLporTipo/tabid/91/Default.aspx> MDL de república dominicana
8. [http://84448166035\\_cap3\\_caudal.pdf](http://84448166035_cap3_caudal.pdf)
9. [www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/.../A04.pdf](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/.../A04.pdf)
10. [www.inecc.gob.mx](http://www.inecc.gob.mx)
11. [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)
12. [.cre.gob.mx/foro-renovables/documentos/presentaciones/.../03....](http://cre.gob.mx/foro-renovables/documentos/presentaciones/.../03....)
13. [http://dev02.semaforce.eu/fileadmin/eshafiles/documents/publications/GUIDES/GUIDE\\_SHP/GUIDE\\_SHP\\_ES\\_06.pdf](http://dev02.semaforce.eu/fileadmin/eshafiles/documents/publications/GUIDES/GUIDE_SHP/GUIDE_SHP_ES_06.pdf)
14. Hydropower\_essentials.pdf recuperado de [www.iea.org](http://www.iea.org)
15. Ley de energías renovables , SENER, [www.SENER.gob](http://www.SENER.gob)

- 
- 
16. Situación de la energía eólica e hidráulica en México, Florida Lagos ,  
Gabriela (2012-03-13)  
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/317/A04.pdf?sequence=4>
  17. <http://www.proviento.com.ec/>
  18. <http://www.diputados.gob.mx/leyesbiblio/pdf/laerfte.pdf> Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (DOF 07-06-2013)
  19. [www.sener.gob.mx/portal/publicaciones.html](http://www.sener.gob.mx/portal/publicaciones.html) Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026