



**UNIVERSIDAD DE SOTAVENTO A. C.**  
**ESTUDIOS INCORPORADOS A LA UNIVERSIDAD**  
**NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**



---

---

**PROPUESTA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD MEDIANTE  
UNA TURBINA KAPLAN EN EL ARROYO AGUA DULCE, PARA  
CONTRIBUIR AL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA POBLACIÓN EN EL  
MUNICIPIO DE AGUA DULCE, VERACRUZ.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTA:**

**AGNIHT AJIHB ACOSTA ALEJANDRO**

**ASESORA DE TESIS:**

**ING. VIRGINIA ARIAS MÁRQUEZ**

**COATZACOALCOS, VER.**

**JULIO 2022**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## **Titulo**

**PROPUESTA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD MEDIANTE UNA TURBINA KAPLAN EN EL ARROYO AGUA DULCE, PARA CONTRIBUIR AL SISTEMA ELECTRICO DE LA POBLACIÓN EN EL MUNICIPIO DE AGUA DULCE VERACRUZ.**

## **Hipótesis**

El aprovechamiento de la energía cinética del Arroyo Agua Dulce proporcionará la energía requerida para una casa – habitación de consumo promedio en el Municipio de Agua Dulce, Veracruz.

## Justificación

Uno de los principales objetivos de la Reforma Energética es que nuestro país utilice combustibles más limpios y mejores tecnologías.

En esta lógica se inscriben los esfuerzos para sustituir el diésel y el combustóleo por gas natural en la generación de electricidad, al igual que el ingreso de empresas que utilicen procesos menos contaminantes para la extracción y transformación del petróleo.

Los gobiernos estatales y municipales en México han de tener un papel clave para fomentar el uso racional y el ahorro de energía.

Deben unirse esfuerzos que constituyan herramienta valiosa para la implementación de acciones conjuntas entre la población y el gobierno, que repercutan en una mejor calidad de vida en los centros urbanos del país.

Esta investigación propone un estudio sobre una tecnología alterna, que subsane las necesidades energéticas del Municipio de Agua Dulce Veracruz, hacia quien lo requiera en la población.

La producción constante de energía eléctrica es indispensable y el agua está involucrada íntimamente en casi todos los métodos para obtenerla.

La fuerza de las corrientes de agua líquida como ríos y arroyos se transforma, mediante turbinas, en energía mecánica que hace girar los generadores; o la presión del agua como vapor que se controla para hacer girar turbinas.

Hay una aceptación general de la importancia de un manejo integrado de los recursos hídricos disponibles para asegurar que este recurso sea utilizado de manera sostenible.

Se busca un sistema que no solo genere energía, sino que ayude y fortalezca el abastecimiento para una mejor calidad de vida de la población, minimizando las fracturas sociales y descontentos por desabasto energético en la zona de Agua Dulce, Veracruz.

Este aporte trata también de beneficiar a las instituciones, hogares y todo tipo de habitante cerca de río que no cuente con luz.

Impacta directamente a la prevención de desabasto de luz y potencializar el ahorro en el municipio, así como alternar otro suministro que puede ser tomado en cuenta para la comisión federal de electricidad.

La región de Agua Dulce, Veracruz se fortalece con esta propuesta, en beneficios económicos que podrían atraer la atención también como experiencia a la afluencia de turismo.

En marco de la sustentabilidad se focaliza el uso de la energía en el Municipio, aportando lecciones de estudio útiles para otros municipios que tengan interés en mejorar la eficiencia en el uso de sus energías y potencializando sus recursos de manera respetable y equilibrada con el entorno.

## Planteamiento del Problema

Existen asentamientos en los límites municipales, lo que dificulta y encarece el suministro de bienes y servicios públicos, por lo que no siempre dichos crecimientos poblacionales van acompañados de un incremento en la oferta de bienes y servicios públicos.

Diversas publicaciones redactan en sus columnas estos tipos de problemas críticos como; el periódico Imagen del Golfo Coatzacoalcos, que describe el 10 de febrero del año 2018, sobre más de 200 estudiantes en salones sin luz eléctrica, de la escuela primaria Artículo 123, por lo cual realizan sus actividades a oscuras, aunadas a carencia de ventanas para aprovechar la luz del día y techos con goteras, dicha escuela tiene más de 53 años de antigüedad con deficiencia en servicios de energía eléctrica y estructuras.

En el mismo año, se subrayan problemas sociales críticos, sobre la necesidad de la luz, habitantes de la Colonia Uno y Medio de Agua Dulce, reclaman servicio a la Comisión Federal de Electricidad por pésimo servicio en transformadores averiados, resultando quince días de energía intermitente de energía eléctrica en sus casas, por lo cual deciden tomar corriente de manera ilegal, resultando en sobrecarga de uno de los convertidores dejando sin luz a más de 100 familias.

Los colonos cerraron los caminos, lo cual llevo a generar dialogo con las autoridades para dar solución a las situaciones de necesidad eléctrica.

En el ciclo escolar 2019-2020; refieren datos de escuelas de educación Básica que registran la falta del servicio de energía eléctrica, describiendo los siguientes resultados: 657 escuelas de Primaria CONAFE, 288 escuelas de Telesecundaria, seguido de Primaria general con 113 escuelas respectivamente.

El Atlas de Riesgos del Municipio de Agua Dulce 2011, reporta como antecedentes una gama de fenómenos hidrometeorológicos como; ciclones tropicales, huracanes, inundaciones, vientos fuertes, lluvias intensas de temporada, flujo fluvial de veneros

de zona montañosa, incendios forestales, siendo su punto número cinco las Tormentas Eléctricas.

En este Municipio las tormentas eléctricas, afectan en gran parte el suministro de energía eléctrica y sistemas electrónicos, esto de acuerdo con la información proporcionada por Protección Civil Agua Dulce en el Cuadro de Identificación Primaria de Peligros (CIPP).

Por otra parte, el municipio de Agua Dulce, Veracruz perteneciente a la región Olmeca, cuenta con riquezas naturales en su medio físico, el municipio se encuentra ubicado en la llanura costera del Golfo Sur y de acuerdo a su hidrografía, se encuentra regado por arroyos tributarios del río Tonalá, del cual forma parte el arroyo Agua Dulcita, que atraviesa el municipio mencionado.

Existen sistemas comprobados que estos arroyos pueden ser aprovechados como pequeñas mini-hidroeléctricas para generación de energía eléctrica.

Por lo anterior a la problemática planteada sobre la necesidad de apoyar la aportación sobre nuevas ideas, soluciones y planteamientos que propongan las posibilidades del aprovechamiento sobre riquezas hídricas para acercar a la población a alternativas sobre la generación de la energía eléctrica en el municipio de acuerdo a la presión que demanda el crecimiento de la huella urbana, es indispensable implementar acciones de eficiencia energética.

Además de resultar una clave para reducir sus costos, aunado a disminuir los impactos ambientales locales y globales derivados de su consumo.



## **Objetivos**

### *Objetivo General*

Proponer una alternativa sustentable para generar energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía cinética del Arroyo de Agua Dulce en el Municipio de Agua Dulce Veracruz.

### *Objetivos específicos*

Estudiar los sistemas sustentables en la generación de electricidad en Arroyos.

Proponer un sistema de generación eléctrica en función de la energía cinética del Arroyo de Agua Dulce

Analizar los costos de inversión y los beneficios para una casa – habitación de consumo promedio.

## INDICE

Titulo .....	1
Hipótesis.....	2
Justificación .....	3
Planteamiento del Problema .....	5
Objetivos .....	7
Objetivo General .....	7
Objetivos específicos.....	7
Introducción .....	15
CAPÍTULO I .....	17
MARCO CONTEXTUAL .....	17
1.1    MUNICIPIO DE AGUA DULCE, VERACRUZ.....	18
1.1.1 Ubicación y características de la región de Agua Dulce, Veracruz.....	19
1.2    CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS DEL MUNICIPIO DE AGUA DULCE, VER. ....	21
1.3    DESCRIPCIÓN DEL ARROYO AGUADULCITA. ....	24
1.4    DEMANDA ENERGÉTICA DE LA ZONA. ....	43
CAPÍTULO II. ....	48
MARCO TEORICO.....	48
2.1    ENERGÍA HIDROELECTRICA EN EL MUNDO Y MÉXICO .....	49
2.2    RÍOS, ARROYOS Y APROVECHAMIENTO DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	61
2.2.1 Energía Hidráulica. ....	62
2.2.2 Ventajas Ambientales.....	63
2.2.3 Ventajas Económicas.....	63
2.2.4 Ventajas Sociales .....	64
2.2.5 Generación Hidroeléctrica. ....	65
2.3    TIPOS DE TURBINA Y SUS CARACTERÍSTICAS. ....	73
2.3.1 Las Turbinas hidráulicas. ....	74
2.4    MARCO LEGAL Y ENERGÍAS LIMPIAS.....	93
2.4.1 Las Leyes particulares del Sector Electricidad.....	99
CAPÍTULO III. ....	106
PROPUESTA DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD. ....	106
3.1    CARACTERÍSTICAS DEL ARROYO .....	107
3.2    SELECCIÓN DE LA TURBINA PARA EL PROYECTO PROPUESTO.....	107

3.3 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	109
3.4 DIAGRAMA DE BLOQUES.....	110
3.5 DIAGRAMA DEL PROCESO.....	111
3.6 EQUIPOS REQUERIDOS.....	113
CAPÍTULO IV.....	118
COSTOS Y BENEFICIOS.....	118
4.1 COSTOS DE INVERSIÓN.....	119
4.2 ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO.....	123
Conclusión.....	127
Bibliografía.....	129

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de corrientes para la cuenca del arroyo Agua Dulce.....	33
Tabla 2. Datos para determinar la densidad de drenaje de la cuenca del arroyo Agua Dulce. ....	34
Tabla 3. Cálculo de la pendiente principal por el método de Taylor & Schwartz. ....	36
Tabla 4. Cálculo de la pendiente principal por el método de Taylor & Schwartz. ....	38
Tabla 5. Promedios de las longitudes de corrientes. ....	40
Tabla 6. Promedio de las Áreas por orden de corriente. ....	42
Tabla 7. Escuelas sin Servicio de Energía Eléctrica Educación Básica, Según Anexo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. ....	47
Tabla 8. GENERACIÓN DE EMISIONES DE CO2 POR 1 KWH. ....	63
Tabla 9. Clasificación de pequeñas centrales hidroeléctricas.....	66
Tabla 10. Características del arroyo Aguadulcita.....	107
Tabla 11. Costo de equipo. Fuente: Elaboración propia .....	119
Tabla 12. Costo total de inversión. Fuente: Elaboración propia. ....	119
Tabla 13. Consumo promedio de electricidad en casas de interés social.....	120
Tabla 14. Tarifa DAC. Autor: Comisión Federal de electricidad. ....	121
Tabla 15. Costo del consumo promedio anual de electricidad en casas de interés social. ....	123
Tabla 16. Proyección de Costo del consumo promedio anual de electricidad en una casa de interés social.....	124
Tabla 17. Proyección de Costo del consumo promedio anual de electricidad en 1, 2, 3 y 4 casas de interés social. ....	124
Tabla 18. Opciones de rendimiento del proyecto.....	125

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Límite administrativo de Agua Dulce, Veracruz. ....	19
Figura 2. Localización de Agua Dulce, Ver.....	19
Figura 3. Ubicación del Río Tonalá en la costa del Estado de Tabasco, México, con nombres de poblaciones cercanas. ....	20
Figura 4. Mapa de Cuencas Hidrológicas del Municipio de Agua Dulce, Veracruz. ....	22
Figura 5. Mapa de Subcuencas Hidrológicas del Municipio de Agua Dulce, Veracruz. ....	23
Figura 6. Mapa de Microcuencas en el Municipio de Agua Dulce, Veracruz. ....	24
Figura 7. Regiones hidrológicas de la República Mexicana.....	25
Figura 8. Longitud de la cuenca del arroyo Agua Dulce. ....	27
Figura 9. Ancho máximo de la cuenca del arroyo Agua Dulce. ....	28
Figura 10. Áreas izquierda y derecha de la cuenca del arroyo Agua Dulce. ....	29
Figura 11. Orden de la corriente principal. ....	32
Figura 12. Centroides de la cuenca del arroyo Agua Dulce. ....	37
Figura 13. Recta de mejor ajuste (regresión lineal). ....	39
Figura 14. Trazo de subcuencas. ....	40
Figura 15. Recta de mejor ajuste (regresión lineal). ....	41
Figura 16. Recta de mejor ajuste (regresión lineal). ....	42
Figura 17. El 20% de la electricidad mundial, es generada por la energía hidroeléctrica. ....	50
Figura 18. Tecnologías de energía renovable. Generación mundial de energías limpias en GWh, 2015.....	51
Figura 19. Tecnologías de energía renovable. Generación mundial de energías limpias en GWh, 2015.....	51
Figura 20. Tendencias en energía renovable (capacidad instalada). Nuevas adiciones de capacidad en energías renovables mundo 2006-2016.....	52
Figura 21. Capacidad instalada para energías limpias 2016 en México, en MW. ....	53

Figura 22. Generación Anual para energías limpias 2016 en México, en GWh. ....	53
Figura 23. Generación Anual para energías limpias 2016 en México, en GWh. ....	54
Figura 24. Generación por tipo de tecnología estimada para el año 2031. ....	55
Figura 25. Capacidad instalada por tipo de tecnología estimada para el año 2031. ....	55
Figura 26. Prospectiva a mediano y largo plazo. ....	56
Figura 27. Turbina Pelton. ....	76
Figura 28. Rendimiento Turbina Pelton. ....	76
Figura 29. Turbina de flujo cruzado (Ossberger). ....	77
Figura 30. Rendimiento turbina de flujo cruzado (Ossberger). ....	78
Figura 31. Turbina Francis. ....	80
Figura 32. Rendimiento de la Turbina Francis. ....	80
Figura 33. Rendimiento de la Turbina Kaplan, Semi-Kaplan, Hélice. ....	83
Figura 34. Leyes en Materia Energética. Marco legal México. ....	94
Figura 35. Marco Legal en materia de Energías Limpias. ....	95
Figura 36. Principales Objetivos de la Ley General de Cambio Climático. ....	96
Figura 37. Principales hitos en materia energética para los próximos 10, 20 y 40 años. ....	97
Figura 38. Principales características de la Ley de Transición Energética. ....	98
Figura 39. Campo de aplicación normativo para adquisición y pruebas de las turbinas hidráulicas tipo Pelton. ....	102
Figura 40. Campo de aplicación normativo para adquisición y pruebas de las turbinas hidráulicas tipo Francis. ....	103
Figura 41. Campo de aplicación normativo para adquisición y pruebas de las turbinas hidráulicas tipo Kaplan. ....	105
Figura 42. Selección del tipo de turbina en función del gasto y la carga de diseño Qd y Hd. ....	108
Figura 43. Estructura e instalación de la turbina Kaplan. ....	109
Figura 44. Ejemplo de la estructura e instalación de la turbina Kaplan. ....	110

Figura 45. Turbina Kaplan y Generador eléctrico.....	113
Figura 46. Regulador de carga.....	115
Figura 47. Acumulador.....	116
Figura 48. Inversor CC/CA.....	117
Figura 49. Plano de una casa de interés social.....	120

## Introducción

Hoy día, las fuentes renovables como la energía hidráulica tienen gran importancia destacable en el abastecimiento energético mundial, la aportación crece conforme al tiempo y al conocimiento, creció considerablemente a lo largo de las décadas de los años 60, 70 y 80, llegando a alcanzar el 6% del consumo total.

Cabe destacar que la producción de energía hidráulica es una fuente libre de CO<sub>2</sub> con una importancia destacable en el abastecimiento energético mundial.

Nuevos y viejos problemas demandan nuevas atenciones para subsanar o equilibrar el sentido de aportar hacia procesos en los cuales potencialicen lo ya perteneciente a sistemas.

Por ello este trabajo muestra el beneficio sobre la propuesta de generar energía con el aprovechamiento del arroyo de una zona que presenta diversos problemas entre ellos el abastecimiento de un servicio principal de energía a la comunidad en el Municipio de Agua Dulce, Veracruz.

Por lo cual, se comienza con un marco contextual, conociendo el potencial de la zona, así como sus problemas de demanda, en el segundo capítulo se menciona el marco teórico, en el cual se da características del sistema de agua como potencial, los diversos conocimientos sobre turbinas y la importancia del marco legal sobre las energías limpias.

El capítulo tres describe la identificación tanto de las características del arroyo del sistema de estudio como de la elección de la turbina, describiendo la propuesta mediante una relación del proceso y los equipos básicos que puedan requerirse.

Los costos son parte importante de la propuesta, por lo cual se describen en el capítulo cuatro, y por consecuencia se redactan los beneficios de la propuesta, para esclarecer la fortaleza de esta oportunidad en el aprovechamiento de una fuente natural.



Los ríos y arroyos son fuentes inagotables en la zona de Veracruz, fuente reconocida como cuencas principales hídricas, el arroyo del municipio de estudio puede crear condiciones económicas con pequeñas hidroeléctricas, las cuales han aumentado apreciablemente debido a la gran aportación socioeconómica, esta información reunida presenta información para contribuir a generar un marco sobre las soluciones a la gran necesidad de nuestros pueblos.

**CAPÍTULO I**  
**MARCO CONTEXTUAL**

## **1.1 MUNICIPIO DE AGUA DULCE, VERACRUZ.**

Agua Dulce es un municipio ubicado en la zona sur del estado de Veracruz (México), en la Región Olmeca. Se ubica en la planicie costera del golfo de México, y está regado por el río Tonalá y sus afluentes.

Es uno de los 212 municipios del estado. Está ubicado en las coordenadas 18°09'00" latitud norte y 94°08'00" longitud oeste, a una altitud media de 46 m s. n. m. (metros sobre el nivel del mar). En este municipio se encuentra la Sección 22 del STPRM (Sindicato de Trabajadores Petroleros de la República Mexicana)

Categorizado como urbano, en el 2015 lo habitaban 48 091 personas.

Tiene un clima regularmente cálido, con lluvias la mayor parte del año, principalmente en verano, y algunas más en otoño.

Es característico su "Mercado Campesino", que cuenta con gran variedad de surtido: Carnes de aves de Corral, Bovino, Porcino, Pescado y Marisco de la región, gran variedad de fruta, verdura, hielvas de la región, productos artesanales y variedad de antojitos.

Cuenta con playas, "Las Palmitas" y "El Tortuguero" un gran atractivo turístico. Existen también restaurantes típicos, ubicados en las orillas del río Tonalá y en partes de la Colonia El Muelle ribera.

La economía del municipio se basa en la agricultura, la industria petrolera, la pesca, la ganadería y el turismo.

El municipio colinda al norte con el golfo de México, al sur con el arroyo El Pesquero que es la colindancia con el municipio de Las Choapas, al este con el estado de Tabasco, y al oeste con el municipio de Coatzacoalcos.

Tiene límites administrativos con los siguientes municipios o accidentes geográficos, según su ubicación, como se muestra en la siguiente figura No.1.



Figura 1. Límite administrativo de Agua Dulce, Veracruz.

### 1.1.1 Ubicación y características de la región de Agua Dulce, Veracruz.

Se encuentra localizado en la llanura del río Tonalá en la zona sur del estado, en las coordenadas 18° 09' latitud norte y 94° 08' longitud oeste, a una altura de 20 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el Golfo de México, al sur con el arroyo El Pesquero, al este con el estado de Tabasco, al oeste con Coatzacoalcos.

Su distancia aproximada a la capital del estado es de 330 Km al sudeste, se muestra la siguiente figura No.2, sobre su ubicación y la figura No. 3 muestra la ubicación del Río Tonalá en la costa del Estado de Tabasco, México, con nombres de poblaciones cercanas.

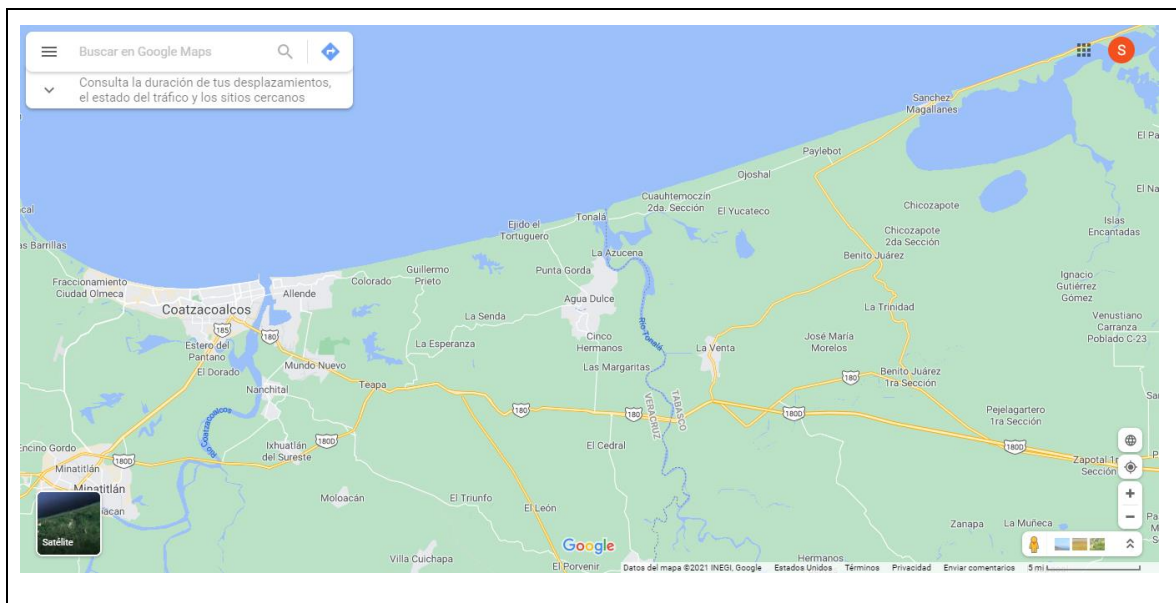


Figura 2. Localización de Agua Dulce, Ver.

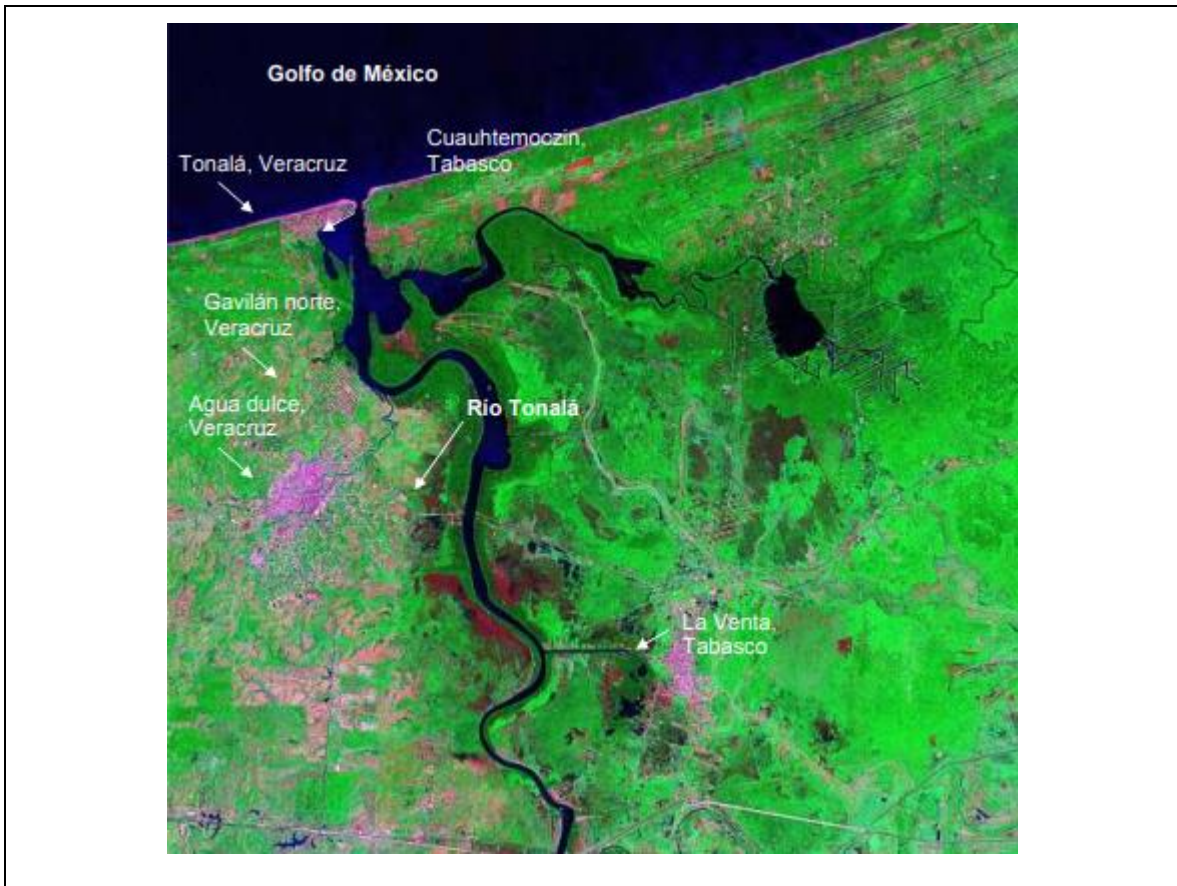


Figura 3. Ubicación del Río Tonalá en la costa del Estado de Tabasco, México, con nombres de poblaciones cercanas.

**Población Agua Dulce** 48,091 Habitantes

**Densidad de población Agua Dulce** 185,5 /km<sup>2</sup>

**Extensión:** Tiene una superficie de 372.03 Km<sup>2</sup>, la cual representa el 0.52% del total del territorio del estado.

**Orografía:** El municipio se encuentra ubicado en la llanura costera del Golfo Sur.

**Hidrografía:** Se encuentra regado por arroyos tributarios del río Tonalá.

**Clima:** Su clima es cálido-regular con una temperatura promedio de 26°C; su precipitación pluvial media anual es de 1,800 mm.

### **Principales ecosistemas:**

**Flora:** Los ecosistemas que coexisten en el municipio son el de selva alta perennifolia con palmares.

**Fauna:** En el municipio se desarrolla una fauna compuesta por poblaciones de armadillos, tlacuaches, conejos, tejones, garzas, tordos, palomas, lagartos, iguanas y víboras.

### **Recursos naturales:**

Su riqueza está representada por minerales como arena silícea, arcilla y bancos de materiales. Además, cuenta con yacimientos de petróleo y gas natural; tierras propicias para la agricultura y la ganadería, así como condiciones para la avicultura, apicultura y pesca.

## **1.2 CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS DEL MUNICIPIO DE AGUA DULCE, VER.**

De acuerdo con la información proporcionada por Protección Agua Dulce en el Cuadro de Identificación Primaria de Peligros (CIPP), la Hidrografía del Municipio comprende parte de la cuenca de los Ríos Agua Dulce y El Burro.

En su ubicación se encuentra al norte limitando con el Golfo de México, así mismo cuenta con una amplia zona pantanosa, donde se encuentran asentadas varias colonias susceptibles de impactarse ya que están ubicadas en partes bajas pantanosas a orilla del río Agua Dulce, las cuales están en constante riesgo de inundación, a lo anterior se le puede agregar el flujo fluvial de los veneros de zona montañosa de nuestro territorio que desembocaron en este mismo río.

El Municipio de Agua Dulce se encuentra dentro de la cuenca del río Tonalá, río principal que marca el límite entre el Municipio de Agua Dulce y el Estado de Tabasco, mostrada en la siguiente figura No. 4 y figura No. 5.

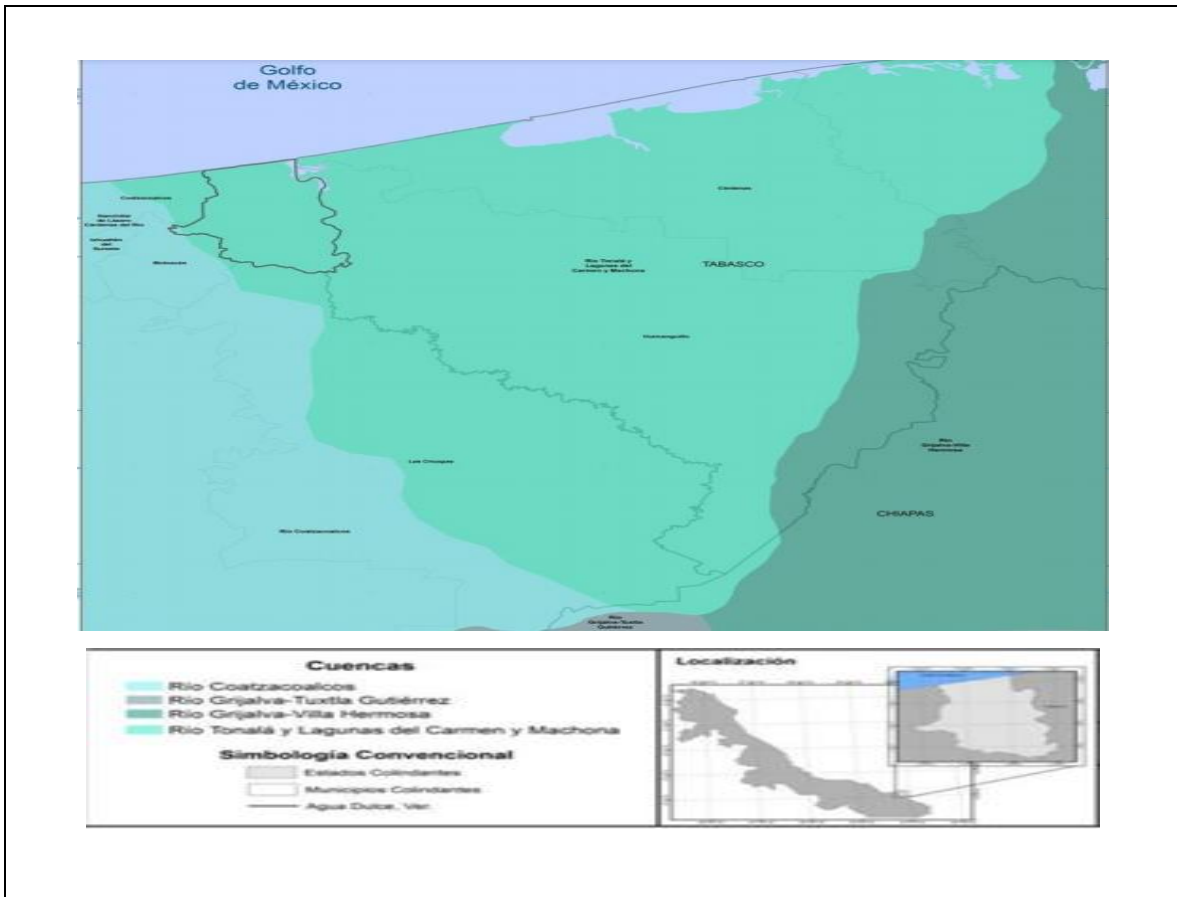


Figura 4. Mapa de Cuencas Hidrológicas del Municipio de Agua Dulce, Veracruz.

El río Tonalá nace en las faldas occidentales del Cerro Mono Pelado y sirve de límite entre Tabasco y Veracruz.

Su dirección es generalmente al Noroeste y es navegable en la época de estiaje en gran parte de su extensión, lo mismo que sus afluentes.

El río Tonalá en su curso superior es conocido como río Tancochapa. Los afluentes principales de esta corriente en territorio tabasqueño son los ríos Zanapa, Blasillo y Chicozapote.

De éstos, el primero es el más importante. Las subcuencas intermedias son: "Lagunas del Carmen-Machona", "Río Santa Ana", "Río Cocajapa", "Río Tonalá", "Río Tancochapa Bajo" y "Río Pozacrispín".

Así mismo, el Municipio se encuentra dentro de la subcuenca hidrológica Laguna del Carmen.

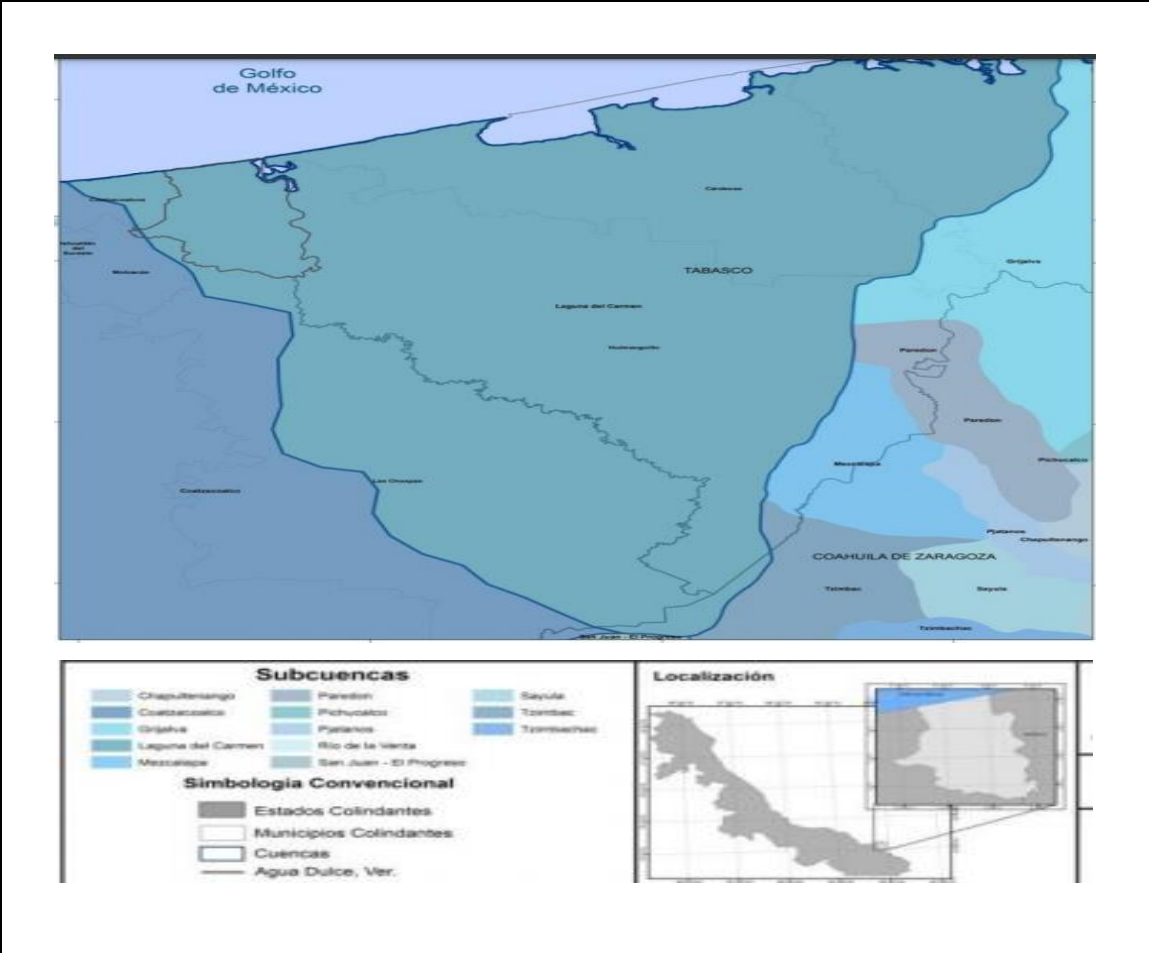


Figura 5. Mapa de Subcuencas Hidrológicas del Municipio de Agua Dulce, Veracruz.

Los principales afluentes que se encuentran dentro del Municipio son el río Agua Dulcita, El Burro, El Arenal, El Cardonal y La Laguna Tortuguero, entre los principales, que son parte de microcuencas que indican el comportamiento del flujo del agua, mostrada en la figura No. 6.



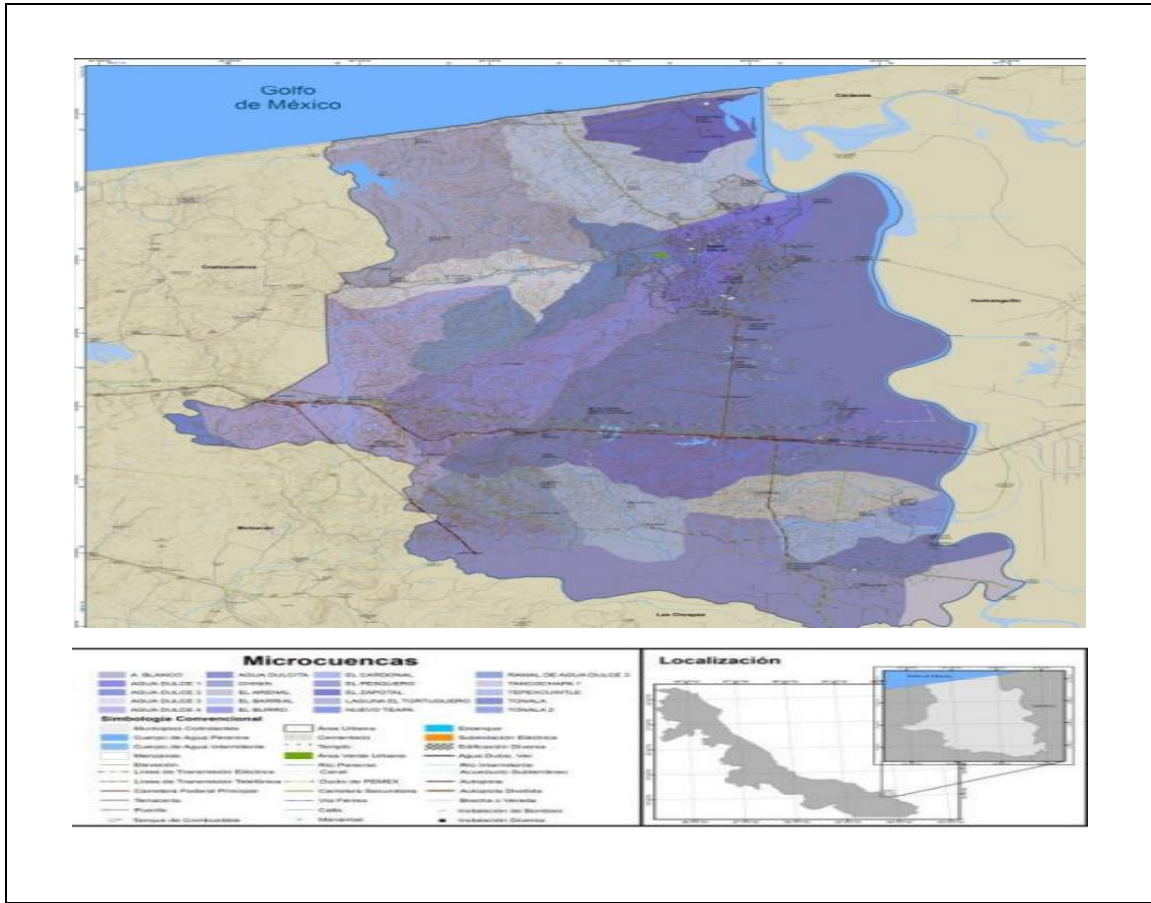


Figura 6. Mapa de Microcuencas en el Municipio de Agua Dulce, Veracruz.

### 1.3 DESCRIPCIÓN DEL ARROYO DE AGUA DULCE.

Los estudios hidrológicos de la zona reportan que dentro de las regiones hidrológicas en que se divide la República Mexicana como se muestra en la figura No. 7, el arroyo Agua Dulce, pertenece a la región hidrológica # 29 cuya vertiente es el Golfo de México, la región hidrológica # 29 ocupa parte del territorio de los estados de Veracruz, Oaxaca y Tabasco, sus principales afluentes son el río Coatzacoalcos y Tonalá.



Figura 7. Regiones hidrológicas de la República Mexicana.

La localidad de Agua Dulce, se ubica a 2 km aguas arriba de la confluencia del arroyo Agua Dulce con el río Tonalá, la cual es cruzada por una corriente en el sentido este-oeste, en un desarrollo aproximado de 5 km.

Es de suma importancia describir las características fisiográficas de la cuenca del arroyo Agua Dulce, ya que cada cuenca cuenta con características únicas.

Para comenzar este análisis existen dos afluentes principales que aportan sus caudales hasta el sitio de interés; estos son el arroyo Agua Dulce y el arroyo El Burro.

Los mencionados arroyos poseen una cuenca propia bien definida, propias características del lugar, por tal motivo en este estudio se consideran dos cuencas de aportación principal:

La cuenca del arroyo Agua Dulce y la cuenca del arroyo El Burro.

Esta cuenca hidrológica funciona como un gran colector que funciona para recibir las precipitaciones y las transforma en sus procesos en los escurrimientos; es importante tomar en cuenta que esta transferencia se realiza con pérdidas

(infiltración, evaporación, transpiración, retención), éste procesos es complejo y depende de diversos factores, entre los que prevalecen el clima y la configuración del terreno, en las cuales se desarrollan dichos fenómenos hidrológicos.

De acuerdo a diversos estudios de prueba, se ha comprobado que determinados parámetros tienen influencia en la respuesta hidrológica de una cuenca y por ello son punto de partida de los análisis y determinaciones cuantitativas, algunos de estos pueden ser determinantes como el área, la forma, su pendiente y la elevación media de la cuenca, también puede influir las características de la red de drenaje y del cauce principal, es importante mencionar que la cuenca queda delimitada por la línea parteaguas, que tiene su propia definición y es importante caracterizarlas, por lo cual se mencionan las definiciones a continuación:

#### Cuenca:

Es el área que contribuye al escurrimiento y que proporciona parte o todo el flujo de la corriente principal y de sus tributarios.

#### Parteaguas:

Es una línea imaginaria del contorno de la cuenca que la separa de cuencas adyacentes o vecinas; distribuye el escurrimiento originado por la precipitación, en el sistema de cauces que fluye a la salida de la cuenca; esta línea imaginaria corta ortogonalmente las curvas de nivel y pasa por los puntos de mayor nivel topográfico, esta línea nunca corta un arroyo o río, excepto en el punto de interés de la cuenca, es decir a la salida.

Se presentan también la longitud de la cuenca para definir las, en la cual de manera general se presentan dos tipos de cuencas, las regulares y las irregulares, en el caso de la cuenca del arroyo Agua Dulce es irregular.

La técnica para medir la longitud de la cuenca es trazar círculos, procurando que sean tangentes a la línea del parteaguas; la suma de los diámetros de estos círculos definirá la longitud de la cuenca; en la siguiente figura No. 8; se muestran los trazos para definir la longitud de la cuenca del arroyo Agua Dulce, el cual es de 16.05 km.

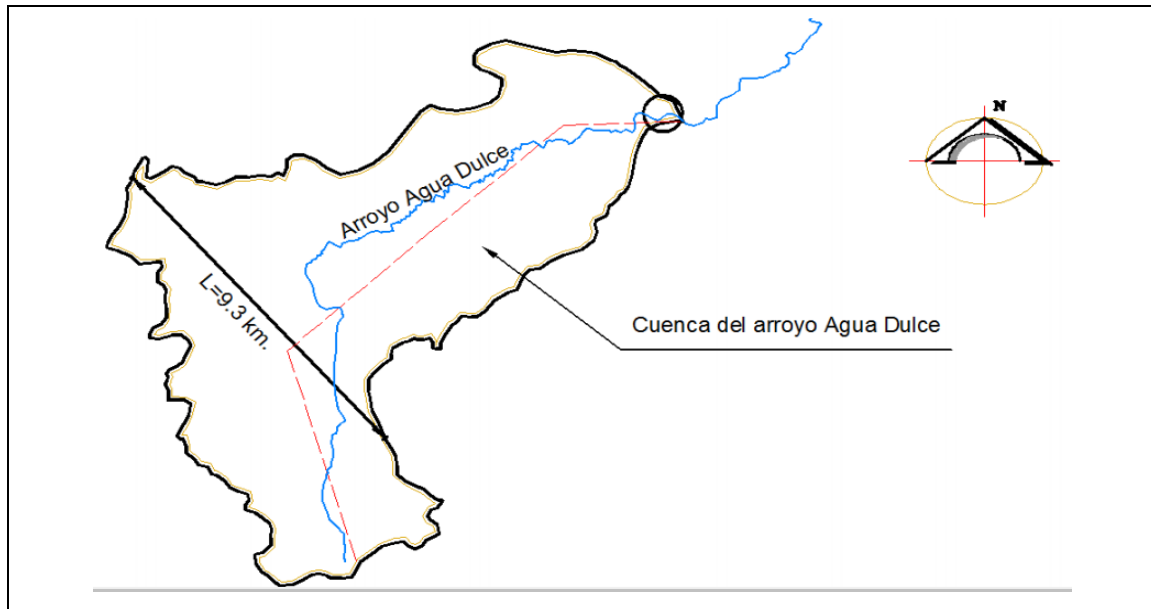


Figura 8. Longitud de la cuenca del arroyo Agua Dulce.

En el caso para caracterizar el área y ancho máximo de la cuenca, entenderemos por definición que:

Área de una cuenca:

Es el área plana en proyección horizontal encerrada por su parteaguas, usualmente se utiliza técnica de determinar el área con planímetro y se representa en kilómetros cuadrados, también con software como herramientas de cómputo.

Existe una diferencia significativa entre una cuenca pequeña y una grande, según investigaciones hidrológicas de los especialistas.

Deliberando que en una cuenca pequeña la cantidad y distribución del escurrimiento son influenciadas principalmente por las condiciones físicas del suelo y por la cobertura.

Para cuencas grandes, el efecto de almacenamiento en el cauce llega a ser importante y habrá que dedicarle mayor atención.

No es fácil distinguir entre una cuenca pequeña y una grande; según Ven Te Chow (Chow, 1989) una cuenca pequeña es aquella que es sensible a las lluvias de alta intensidad y corta duración y en la cual predominan las características físicas del

suelo con respecto a las del cauce; en esta definición se considera que el tamaño de una cuenca puede variar hasta  $130 \text{ km}^2$ , sin embargo, otros autores mencionan que el rango superior de la cuenca pequeña hasta los  $250 \text{ km}^2$  (Springer, 1970).

Para la cuenca del arroyo Agua Dulce el área que se determinó es de  $89.7 \text{ km}^2$ , por lo que se considera que corresponde a una cuenca pequeña.

El ancho máximo de la cuenca es la longitud de mayor distancia perpendicular a la línea que determina la longitud de la cuenca, la figura No. 9, se muestra el lugar donde se presenta el ancho máximo cuyo valor es de 9. km.

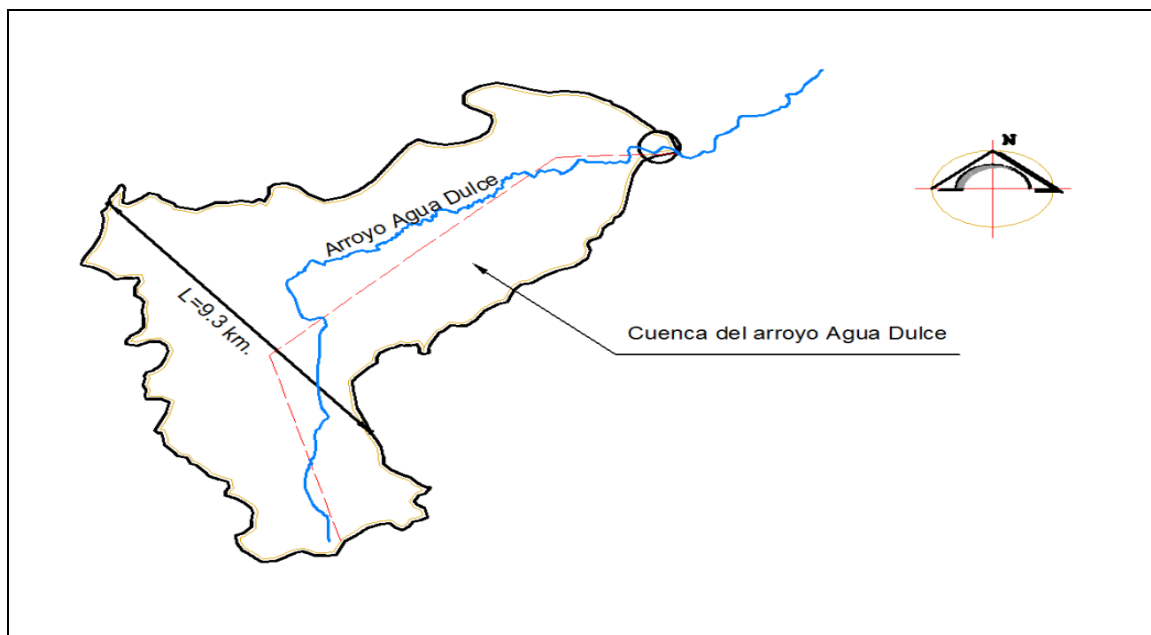


Figura 9. Ancho máximo de la cuenca del arroyo Agua Dulce.

### El ancho medio de la cuenca:

Corresponde a una transformación puramente geométrica del área de la cuenca a un rectángulo donde uno de los lados corresponde a la longitud de la cuenca y el restante al ancho medio.

Para la cuenca del arroyo Agua Dulce el ancho medio de la cuenca se define como:

<b>Ecuación 1</b>	$Ancho_{medio} = \frac{A_c}{L_c}$
-------------------	-----------------------------------

Donde:

**A<sub>c</sub>**: área de la cuenca, km

**L<sub>c</sub>**: longitud de la cuenca, km

<b>Resultado 1</b>	$Ancho_{medio} = \frac{89.7 \text{ km}^2}{16.05 \text{ km}} = 5.59 \text{ km}$
--------------------	--

Coeficiente de asimetría de la cuenca:

El coeficiente de asimetría de la cuenca es una relación adimensional de las áreas reportadas a cada lado de las márgenes del río, teniendo como límite la línea del parteaguas, el rango de variación es  $-2 < a < 2$ .

Las cuales se indican las áreas correspondientes a los lados izquierdo y derecho de la cuenca, figura No. 10.

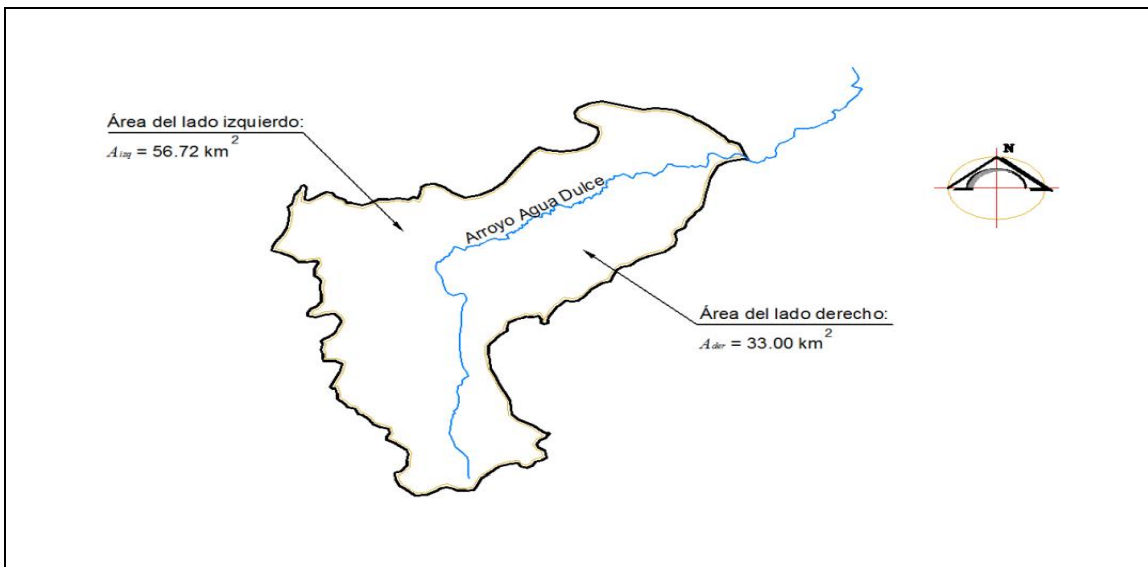


Figura 10. Áreas izquierda y derecha de la cuenca del arroyo Agua Dulce.

La expresión que define el coeficiente de simetría de la cuenca está dada por:

<b>Ecuación 2</b>	$a = \frac{A_{izq} - A_{der}}{\frac{A_{izq} + A_{der}}{2}}$
-------------------	---

Donde:

**a**: coeficiente de asimetría de la cuenca, adimensional

**A<sub>izq</sub>**: área del lado izquierdo de la cuenca, km<sup>2</sup>

**A<sub>der</sub>**: área del lado derecho de la cuenca, km<sup>2</sup>

<b>Resultado 2</b>	$a = \frac{56.72 - 33}{\frac{56.72 + 33}{2}} = \frac{23.72}{44.86} = 0.528$
--------------------	---

Coeficiente de desarrollo de la línea del parteaguas:

Es un valor adimensional que relaciona la longitud del parteaguas con el área de la cuenca; la expresión que permite determinar dicho coeficiente es:

<b>Ecuación 3</b>	$m = 0.282 \frac{L_p}{\sqrt{A_c}}$
-------------------	------------------------------------

Donde:

**m**: coeficiente de desarrollo de la línea del parteaguas, adimensional

**L<sub>p</sub>**: longitud del parteaguas, km

**A<sub>c</sub>**: área de la cuenca, km<sup>2</sup>

El área de la cuenca es de 89.7 km<sup>2</sup>, en tanto que la longitud del parteaguas es de 57.1 km; con estos datos al sustituir en la ecuación, se obtiene:

<b>Resultado 3</b>	$m = 0.282 \frac{57.1 \text{ km}}{\sqrt{89.7 \text{ km}^2}} = \frac{16.1 \text{ km}}{9.47 \text{ km}} = 1.7$
--------------------	--

El orden de las corrientes se determina como se muestra en la figura No. 11.

Una corriente de orden 1 no recibe aportación, por lo cual, es un tributario sin ramificaciones.

Una corriente de orden 2, solo tiene tributarios de orden 1.

Dos corrientes de orden 1 forman una corriente de orden 2.

Dos corrientes de orden 2 forman una corriente de orden 3, etc.

Debe observarse que:

El orden de la cuenca es el mismo al de la corriente principal a su salida; para la cuenca del arroyo Agua Dulce se tienen los siguientes datos:

Orden de la corriente principal = 4 Orden de la cuenca = 4



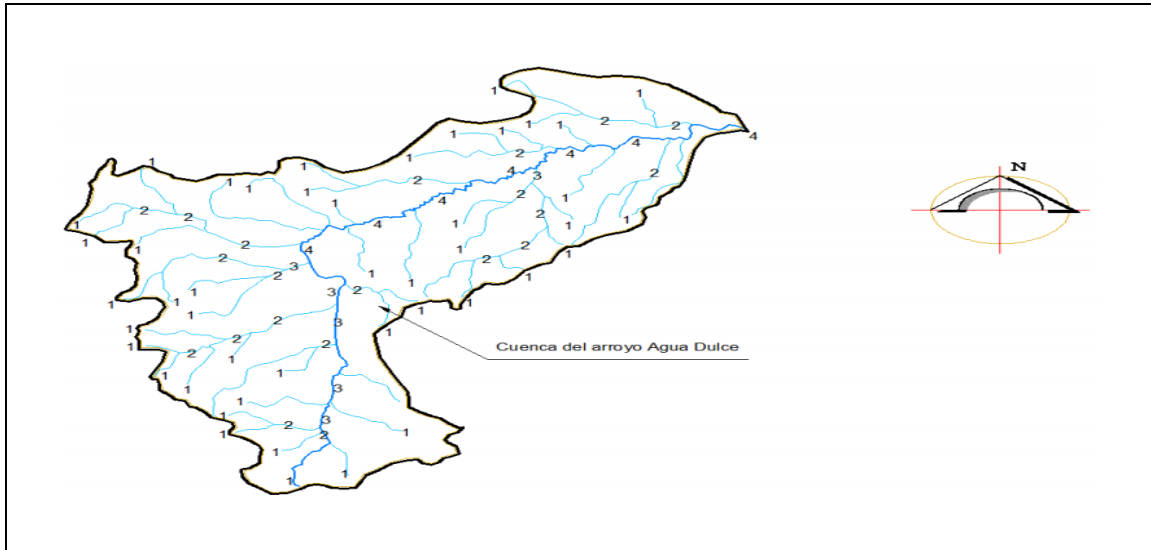


Figura 11. Orden de la corriente principal.

Densidad de corriente:

La densidad de corriente es un indicador del grado de bifurcación de una cuenca, se calcula con la siguiente expresión:

Ecuación 4	$D_c = \frac{N_c}{A_c}$
------------	-------------------------

Donde:

***D<sub>c</sub>***: Densidad de corriente.

***N<sub>c</sub>***: Número de corrientes perennes e intermitentes.

***A<sub>c</sub>***: Área de la cuenca, km.

El arroyo Agua Dulce, presenta los siguientes valores mostrados en la tabla 1.

Orden	Numero de Corrientes	Suma acumulada
1	50	50
2	14	64
3	3	67
4	1	68

Tabla 1. Número de corrientes para la cuenca del arroyo Agua Dulce.

<b>Resultado 4</b>	$D_c = \frac{N_c}{A_c} = \frac{68}{89.7} = 0.75$
--------------------	--

Densidad de drenaje:

Es un indicador del grado de bifurcación de una cuenca y se define como la longitud de las corrientes por unidad de área. En la tabla 2 se tiene datos requeridos para determinar la densidad de drenaje.

<b>Ecuación 5</b>	$D_d = \frac{L_s}{A_c}$
-------------------	-------------------------

Donde:

**$D_d$** : Densidad de drenaje, km/km<sup>2</sup>

**$L_s$** : Longitud total de las corrientes, km.

**$A_c$** : Área de la cuenca, km<sup>2</sup>.

Orden	Longitud total (km)	acumulada (km)
1	81.6478	81.6478
2	26.6106	108.2584
3	7.4295	115.6879
4	14.2480	129.9359

Tabla 2. Datos para determinar la densidad de drenaje de la cuenca del arroyo Agua Dulce.

Por lo tanto, la densidad de drenaje es:

<b>Resultado 5</b>	$D_d = \frac{L_s}{A_c} = \frac{129.94 \text{ km}}{89.7 \text{ km}^2} = 1.45 \text{ km}/\text{km}^2$
--------------------	---

#### Pendiente media del cauce principal:

Es uno de los indicadores más importantes en la respuesta de una cuenca a una tormenta.

La pendiente varía a lo largo del cauce, por lo que es necesario definir una pendiente media; para definir esta pendiente, existen varios criterios entre los que se pueden citar los siguientes:

El de la pendiente geométrica, el cual une las cotas de inicio y del final del río, dividida entre la longitud del cauce.

El de la pendiente compensada, el cual apoyándose en un extremo aguas abajo de la corriente, permite que se tengan áreas iguales entre el perfil del cauce y arriba y abajo de dicha línea.

El criterio de Taylor y Schwarz que después de un desarrollo matemático llegan a la siguiente expresión:

<b>Ecuación 6</b>	$S = \left[ \frac{m}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{S_i}}} \right]^2$
-------------------	--

Donde:

**S:** Pendiente media del cauce, adimensional.

**m:** Número de tramos en que se dividió el cauce.

**S<sub>i</sub>:** Pendiente del tramo i, adimensional.

La expresión anterior es válida cuando el cauce se divide en tramos iguales, si el río se divide en tramos desiguales, entonces se utiliza la siguiente expresión.

<b>Ecuación 7</b>	$S = \left[ \frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{S_i}}} \right]^2$
-------------------	--

Donde:

**S:** Pendiente media del cauce, adimensional.

**L:** Longitud total del cauce, km.

**L<sub>i</sub>:** Longitud del tramo i, km.

**S<sub>i</sub>:** Pendiente del tramo i, adimensional.

Diversos estudios hidrológicos han demostrado que la pendiente del cauce determinada con la expresión de Taylor & Schwartz proporciona mejores resultados que los otros dos métodos, por esta razón, en el presente trabajo, se emplea este criterio.

La Tabla 3, presenta los resultados de los cálculos realizados para definir la pendiente del arroyo Agua Dulce.

Tramo	Elevación (msnm)		Longitud del Tramo (m)	Si	L/(Si)^0.5
	Inicial	Final			
1	80	70	200	0.05	894.43
2	70	60	900	0.01	8538.15
3	60	50	300	0.03	1643.17
4	50	40	1600	0.01	20238.58
5	40	30	4100	0.002	83018.67
6	30	20	5900	0.002	143310.50
7	20	10	4300	0.002	89166.70
8	10	5	5100	0.001	162880.94
		Σ =	22400		509691.13

Tabla 3. Cálculo de la pendiente principal por el método de Taylor & Schwartz.

**Resultado 7**

$$S = \left[ \frac{22400 \text{ m}}{509691.13 \text{ m}} \right]^2 = (0.0439)^2 = 0.002$$

El tiempo de concentración de la cuenca:

Es el que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio y equivale al tiempo de viaje del agua, desde la parte más alejada de la cuenca hasta la salida de la misma.

El tiempo de concentración depende de la longitud que debe recorrer el agua hasta la salida de la cuenca y la velocidad que adquiere.

Existen diversas expresiones para calcular el tiempo de concentración, en el presente estudio se utilizó la fórmula de Kirpich:

**Ecuación 8**

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

**t<sub>c</sub>**: Tiempo de concentración, horas.

**L**: Longitud del cauce, m.

**S:** pendiente del cauce, obtenido con alguno de los métodos expuestos, m/m.

<b>Resultado 8</b>	$t_c = 0.000325 \frac{22400^{0.77}}{0.002^{0.385}} = 7.96 \approx 8 \text{ horas}$
--------------------	--

Latitud y longitud del centroide:

En la figura siguiente se muestra el lugar correspondiente del centroide de la cuenca, con apoyo de herramientas de software como AutoCAD y MASSPROP, se obtuvo las coordenadas, la figura No. 12 que muestra el sitio del centroide de la cuenca.

Latitud del centroide de la cuenca del arroyo Agua Dulce = 18° 05' 39"

Longitud del centroide de la cuenca del arroyo Agua Dulce = 94° 13' 29"

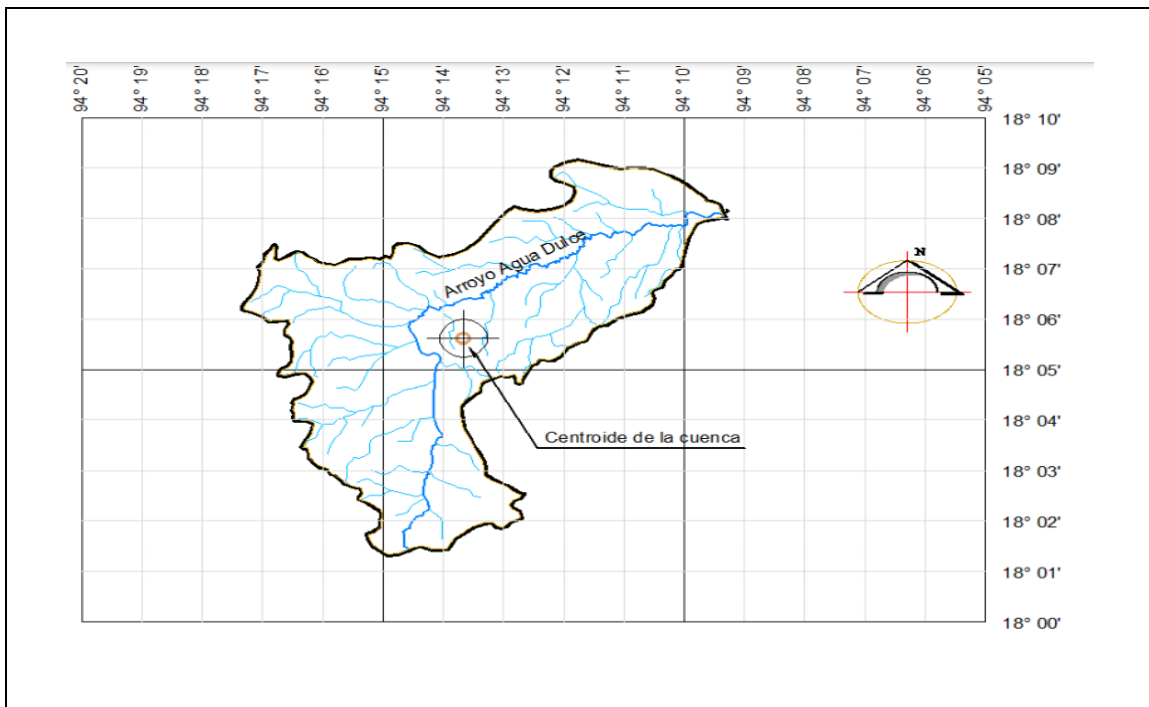


Figura 12. Centroide de la cuenca del arroyo Agua Dulce.

Ley de los números de corrientes (Relaciones de Horton).

Horton sugirió varias leyes de carácter empírico, las cuales han sido confirmadas en varias ocasiones (Eslava, 1997); las leyes de Horton se presentan a continuación.

La expresión que define el valor de la constante de la Ley de los números de corrientes.

<b>Ecuación 9</b>	$Rb = \frac{N_{\varpi-1}}{N_{\varpi}}$
-------------------	--

Donde:

**Rb:** Constante que se denomina comúnmente como grado de bifurcación.

**$N_{\varpi}$ :** Número de corrientes de orden  $\varpi$ .

**$N_{\varpi-1}$ :** Número de corrientes de orden  $\varpi-1$ .

Una gráfica del logaritmo de  $N_{\varpi}$  contra el orden  $\varpi$ , produce una línea aproximadamente recta con pendiente negativa; la magnitud en valor absoluto de la pendiente de dicha recta, es el logaritmo de Rb, en la tabla 4 se muestra los valores para determinar la Ley de los Números de Corrientes. Las relaciones de bifurcación se encuentran dentro del rango:  $3.0 \leq Rb \leq 5$ .

Orden	Log N	Numero de Corrientes
1	1.6990	50
2	1.1461	14
3	0.4771	3
4	0.0000	1

Tabla 4. Cálculo de la pendiente principal por el método de Taylor & Schwartz.

Al construir una regresión lineal (figura No. 13) de los datos anteriores, se obtiene la siguiente expresión.

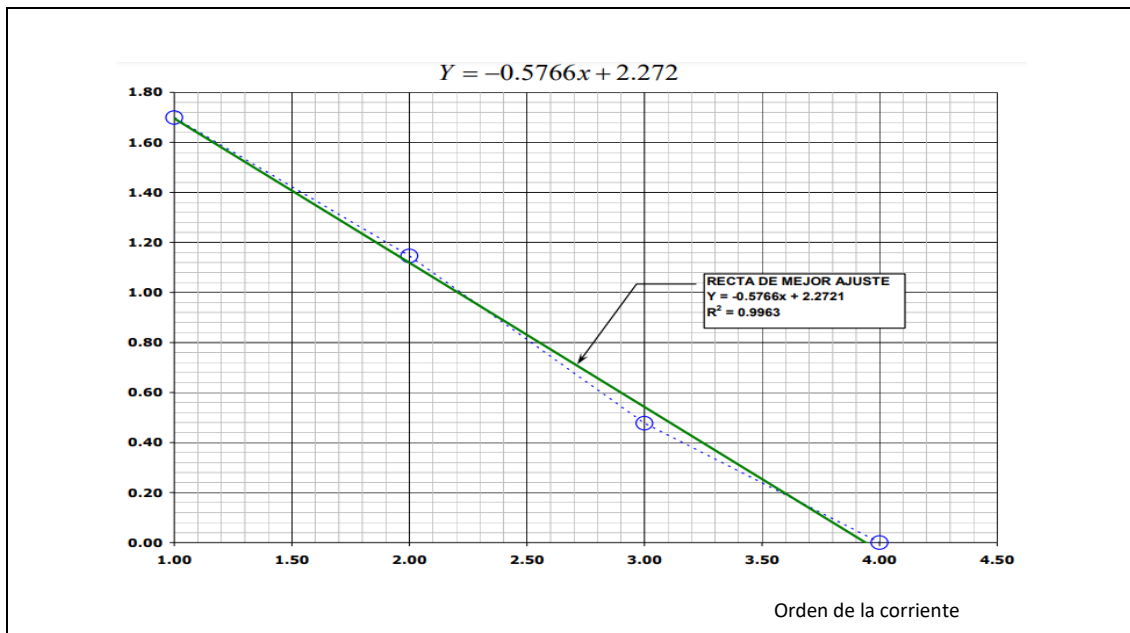


Figura 13. Recta de mejor ajuste (regresión lineal).

La magnitud de la pendiente es el valor buscado, para la cuenca del arroyo Agua Dulce se tiene el siguiente valor

$$Rb = 10^{0.5766} = 3.77$$

### Ley de longitudes de las corrientes

Para el valor de la ley de longitudes de las corrientes, se calcula con la siguiente expresión:

<b>Ecuación 10</b>	$RL = \frac{\bar{L}_n}{\bar{L}_{n-1}}$
--------------------	--

**RL:** Constante que se denomina comúnmente como grado de bifurcación. Las relaciones de longitud se encuentran en el rango:  $1.5 \leq RL \leq 3$ .



$L_{\omega}$ : Longitud promedio de las corrientes de orden  $\omega$ , km.

$L_{\omega-1}$ : Longitud promedio de las corrientes de orden  $\omega-1$ , km.

En la carta topográfica escala 1:50000, se trazaron las subcuencas de orden 1, 2 y 3 mostradas en la figura No. 14; los promedios de las longitudes calculadas para cada orden se encuentran en la tabla 5.

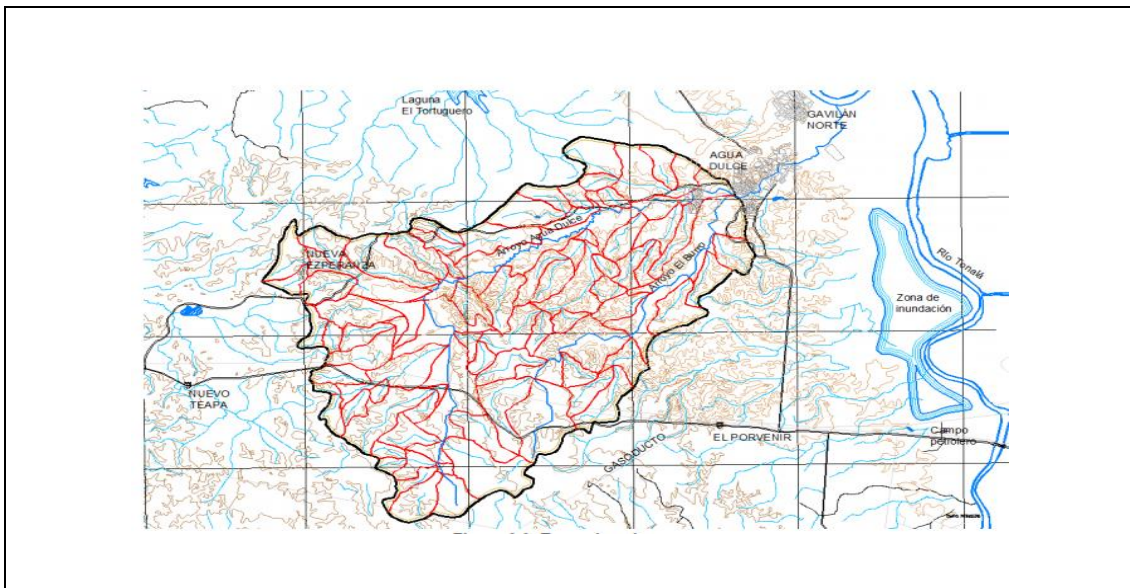


Figura 14. Trazo de subcuencas.

Orden	Log L	Promedio L
1	0.2130	1.6330
2	0.2789	1.9008
3	0.3938	2.4765
4	1.1538	14.2480

Tabla 5. Promedios de las longitudes de corrientes.

Se muestra la construcción de la gráfica en la figura No. 15, que relaciona el Orden de la corriente contra el Logaritmo del promedio de las longitudes.

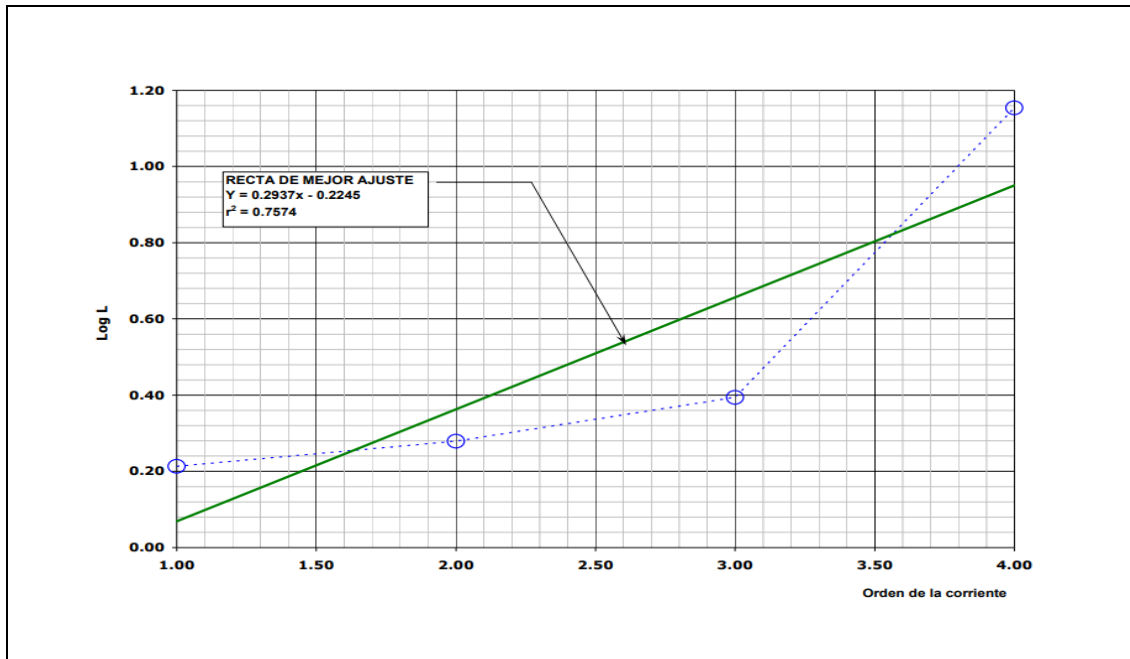


Figura 15. Recta de mejor ajuste (regresión lineal).

Al realizar una regresión lineal con los datos anteriores, se obtiene la siguiente expresión:

<b>Ecuación 11</b>	$Y = 0.2937x - 0.2244$
--------------------	------------------------

La magnitud de la pendiente es el valor buscado, para la cuenca del arroyo Agua Dulce se tiene el siguiente valor

$$RL = 10^{0.2937} = 1.97$$

Ley de las áreas de drenaje, se expresa de la siguiente manera:

<b>Ecuación 12</b>	$RA = \frac{\overline{A}_\omega}{A_{\omega-1}}$
--------------------	---

Donde:

**RA:** Relación de áreas, las relaciones de área se encuentran en el rango  $3 \leq RA \leq 6$ .

**$A_{\omega}$ :** Área media de la región de la cuenca de orden  $\omega$ ,  $\text{km}^2$ .

**$A_{\omega-1}$ :** Área media de la región de la cuenca de orden  $\omega-1$ ,  $\text{km}^2$ .

Orden	Log A	Área promedio
1	0.034	1.082
2	0.607	4.042
3	1.194	15.645
4	1.953	89.727

Tabla 6. Promedio de las Áreas por orden de corriente.

Para obtener el parámetro RA, es necesario graficar el orden de la corriente contra el Logaritmo de A (tabla 6), posteriormente se realiza la regresión lineal, obteniendo su ecuación (Figura No. 16).

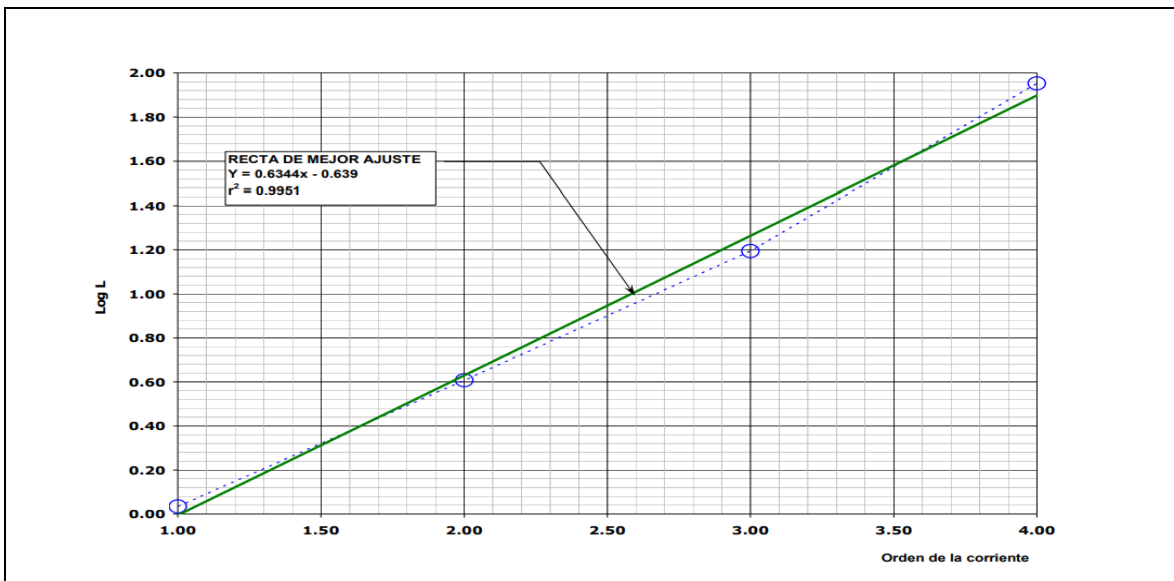


Figura 16. Recta de mejor ajuste (regresión lineal).

Al realizar la regresión lineal se obtiene la siguiente ecuación.

<b>Ecuación 13</b>	$Y = 0.6344x - 0.639$
--------------------	-----------------------

La magnitud de la pendiente es el valor buscado, para la cuenca del arroyo Agua Dulce la constante RA es de:

$$RA = 10^{0.6344} = 4.31$$

#### **1.4 DEMANDA ENERGÉTICA DE LA ZONA.**

En el Municipio de Agua Dulce se presenta factores importantes factores que marcan la vulnerabilidad, como ciclones, huracanes, ondas tropicales, tormentas eléctricas, sequías, temperaturas máximas extremas y las inundaciones.

También en cuanto a los fenómenos geológicos, la región ha sufrido graves daños por sismos, derrumbes, deslaves y erosión.

Los fenómenos químico-tecnológicos y los sanitarios ecológicos tienen un papel importante en este Municipio.

Toda esta información anterior está fundamentada en el reporte proporcionado en el Atlas de Riesgos del Municipio de Agua Dulce 2011.

De acuerdo con el reporte de antecedentes de fenómenos hidrometeorológicos, los Vientos Fuertes se encuentran dentro de las calamidades que enfrenta este Municipio con mayor regularidad presentando un nivel de Peligro Muy Alto, así como también las lluvias intensas de la temporada, esto de acuerdo con la información proporcionada por Protección Civil Agua Dulce en el Cuadro de Identificación Primaria de Peligros (CIPP).

También aseguran información sobre las Tormentas Eléctricas en este Municipio afectan en gran parte el suministro de energía eléctrica y sistemas electrónicos.

En cuanto a la vivienda y marginación, datos denominados por CENAPRED, en cuanto a las viviendas con electricidad a nivel municipal; 1.8 por ciento del total de vivienda por habitante (VPH) no disponen del servicio.

Conformadas por el resultado de la diferencia del total de hogares y el total de viviendas particulares habitadas, lo que en primera parte representa la demanda insatisfecha de viviendas para el total de hogares del municipio.

También se le suman las viviendas con paredes de material de desecho y lámina de cartón, así como las que tienen piso de tierra, lo que representa las viviendas que necesitan mejoramiento.

Lo que significa en términos absolutos, que 220 VPH no tienen electricidad de un total de 12,039.

El déficit de vivienda asciende a 5.3 por ciento.

Sobre la categoría vivienda y marginación, en el municipio de Agua Dulce una gran parte de la población se encuentra establecida en viviendas que no cuentan con los servicios básicos, y aun cuando la mayor parte de éstas tienen una calidad de materiales de construcción superior a paredes o techos de desecho o lámina de cartón, en general no disfrutan de condiciones aceptables para habitar y responder ante peligros, situación que se corrobora con el Índice de Marginación (IM), a nivel localidad; de manera que, las localidades rurales son las que se encuentran en situación de mayor vulnerabilidad ante peligros.

Por lo que, será de suma importancia las acciones que se sumen al respecto, para acercarse a revertir tales indicadores.

Se agudizada la situación en al año 2018, sobre la necesidad de la energía eléctrica, diarios de la localidad reportan alumnos que estudian en Agua Dulce, Veracruz sin luz, además de la falta de infraestructura sana para llevar a cabo sus actividades escolares.

Reporteros, padres y madres de familia, así como la propia institución comenta que realizan actividades a oscuras y además con goteras, lo cual agrava la situación de vulnerabilidad.

Escuelas como el CETMAR, declaran que además reciben clases en otra institución, para evitar mojar sus útiles, más de 200 alumnos llevan a cabo sus estudios sin este servicio básico.

Se han visto en la necesidad de utilizar sus celulares, para iluminar sus cuadernos, ante este deterioro, se ha solicitado al gobierno municipal tenga intervención sobre este grave problema, la escuela tiene más de 53 años de antigüedad, y está en alta deficiencia y careciendo de uno de los servicios básicos, como lo es la electricidad.

El problema ha llegado a tales niveles, fraccionando la sociedad que ha presionado con actuaciones en su desesperación como; retener camionetas de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), cerrar avenidas y marchas para exigir solución a los problemas del servicio continuo y desabasto de este.

La Secretaría de Educación de Veracruz (SEV) en conjunto con la Unidad de Planeación Evaluación y Control Educativo (UPECE) a través de la Subdirección de Investigación y Análisis de la Información (SlyAI) presentan el Anuario Estadístico 2019-2020, reportando en este documento la incorporación de la información sobre las necesidades de energía eléctrica, agua potable e internet en los centros de trabajo.

Declaran que: “Referente a los servicios de energía eléctrica en Veracruz hay 1,151 escuelas de nivel básico que no tienen este servicio, esto representa aulas con una mala calidad de iluminación y sin acceso a tecnologías de comunicación”.

También hacen mención sobre la importancia de las vías de comunicación educativa: “La televisión y el internet es un recurso que se está utilizando en “Clases desde Casa” en Veracruz hay 16,335 escuelas que no cuentan con internet, lo cual lleva a un rezago educativo, social y cultural importante durante esta pandemia”

Debido a esto la Secretaría de Educación de Veracruz distribuyó “Cuadernillos Veracruz”.

Educando a distancia para cubrir con los Planes y Programas de estudio, en los planteles educativos que no cuentan con conectividad.

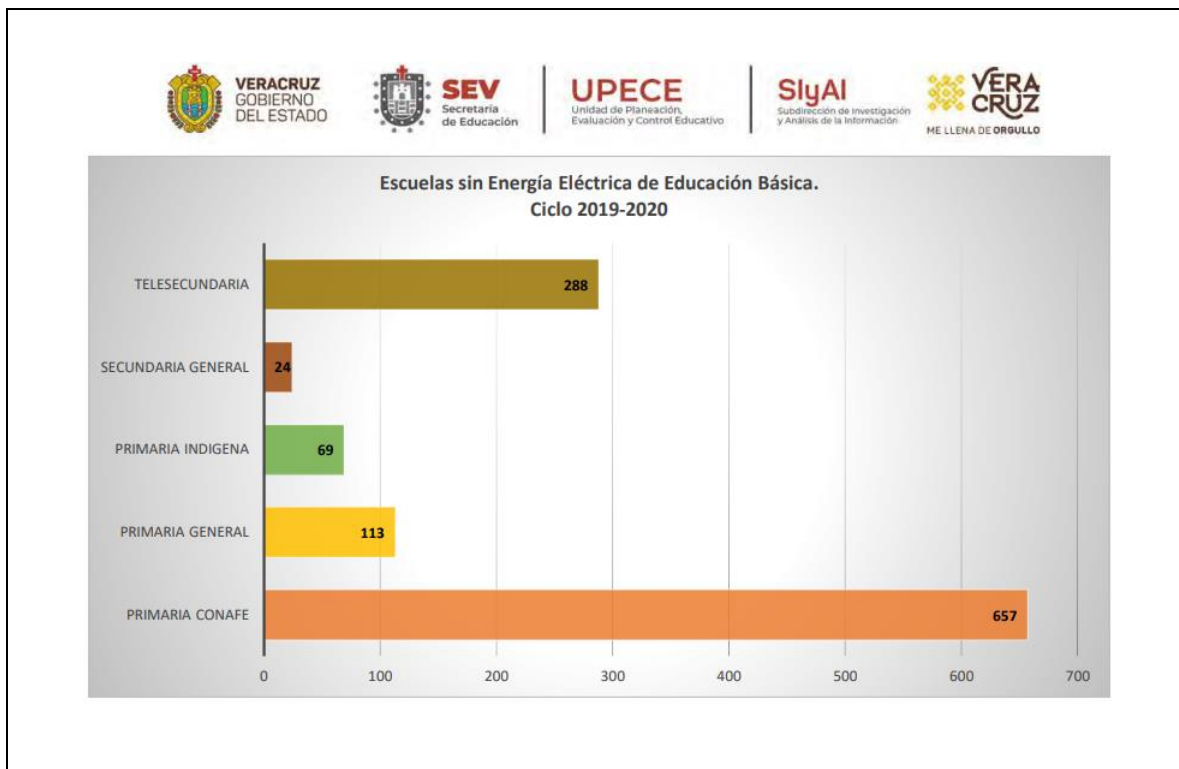
Del Cuestionarios 911, Ciclo escolar 2019-2020 que corresponde al Estado Veracruz; refieren datos de escuelas de educación Básica que registran la falta del servicio de energía eléctrica, reflejados en la gráfica No. 1.

Describiendo los siguientes resultados:

657 escuelas de Primaria CONAFE,

288 escuelas de Telesecundaria,

seguido de Primaria general con 113 escuelas respectivamente.



Gráfica 1. Escuelas de educación Básica que registran la falta del servicio de energía eléctrica.

Resultados los cuales reflejan para el Municipio de Agua Dulce Veracruz (tabla 7); las siguientes escuelas sin servicio de luz: una escuela PRIMARIA GENERAL y una escuela TELESECUNDARIA 1, lo cual a su vez no cuentan con servicio de internet.

MUNICIPIO	NIVEL	Escuelas sin luz
<b>ACAJETE</b>		<b>10</b>
PRIMARIA CONAFE		6
PRIMARIA GENERAL		1
TELESECUNDARIA		3
<b>ACATLAN</b>		<b>1</b>
PRIMARIA CONAFE		1
<b>ACAYUCAN</b>		<b>12</b>
PRIMARIA CONAFE		8
PRIMARIA GENERAL		2
TELESECUNDARIA		2
<b>ACTOPAN</b>		<b>5</b>
PRIMARIA CONAFE		3
TELESECUNDARIA		2
<b>ACULTZINGO</b>		<b>2</b>
PRIMARIA CONAFE		2
<b>AGUA DULCE</b>		<b>2</b>
PRIMARIA GENERAL		1
TELESECUNDARIA		1
<b>ALAMO TEMAPACHE</b>		<b>10</b>
PRIMARIA CONAFE		7
PRIMARIA INDIGENA		1
TELESECUNDARIA		2
<b>ALPATLAHUAC</b>		<b>9</b>
PRIMARIA CONAFE		7
TELESECUNDARIA		2

Tabla 7. Escuelas sin Servicio de Energía Eléctrica Educación Básica, Según Anexo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

The Nature Conservancy afirma que los ríos deben y pueden ser aprovechados para la generación de energía como opción alterna sustentable para cubrir las necesidades de las poblaciones.

Los ríos y arroyos deben ser aprovechados con su enorme fuerza y un caudal, pueden ser los candidatos ideales hacia la producción de energías limpias, la construcción de presas y la instalación de turbinas puede ayudar a fortalecer esta parte, des la implicación del respeto a la biodiversidad.

Los gobiernos estatales y municipales deben comprometer el papel clave de desarrollo hacia el fomento del uso racional y el ahorro de energía.



**CAPÍTULO II.**  
**MARCO TEORICO**

## **2.1 ENERGÍA HIDROELECTRICA EN EL MUNDO Y MÉXICO**

La UNESCO declara mediante su Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP)

Cerca del 20% de la electricidad mundial, es generada por la energía hidroeléctrica, la cual se ha mantenido estable desde la década de 1990.

La utilización de fuentes de energía renovables ha aumentado en todo el mundo con avances técnicos que han permitido disminuir los costos.

Por otro lado, las fuentes de energía renovables por sí solas no serán suficientes para satisfacer el gran aumento de la demanda energética a lo largo del 2030, la extracción de combustibles fósiles y el desarrollo de la energía nuclear seguirán creciendo al mismo tiempo que lo hará el impacto sobre los recursos hídricos y el medio ambiente.

La Agencia Internacional de Energía reporta que; la producción de electricidad mediante energía hidroeléctrica y otras fuentes de energías renovables crecerá a un ritmo anual del 1,7% desde el 2004 hasta el 2030, con un incremento global del 60% al llegar al año 2030.

Posiblemente el desarrollo de la energía hidroeléctrica podría ser limitado por dos factores principales:

- El poco potencial geofísico y espacial disponible para nuevas instalaciones de energía de grandes hidroeléctricas.
- Poca capacidad de inversión (incluyendo la disponibilidad de fondos) y los impactos sociales y ambientales que conllevan las grandes represas, así como la controversia que se genera en torno a las mismas.

Esto hace pensar que se ha explotado muy poco el potencial hidroeléctrico en los países en desarrollo.

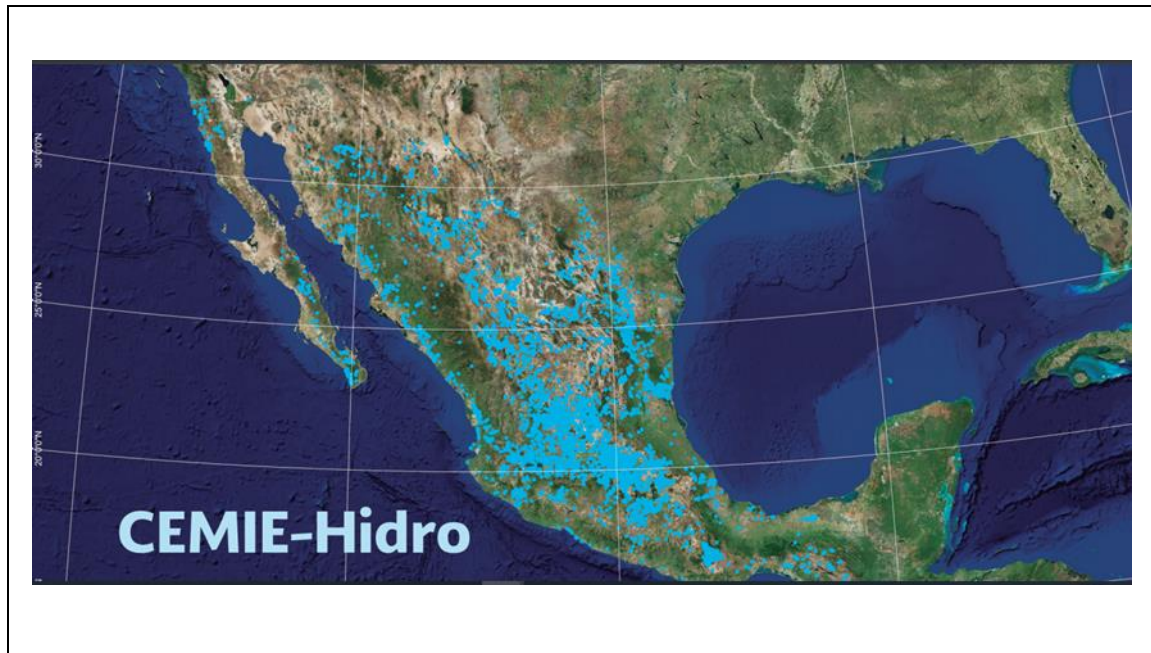


Figura 17. El 20% de la electricidad mundial, es generada por la energía hidroeléctrica.

La Energía Hidroeléctrica en el Mundo, se encuentra según cifras de la International Renewable Energy Agency (IRENA, por sus siglas en ingles), a nivel mundial la capacidad instalada con energías renovables en 2015 reportando que fue de 1,849,496 MW, donde la hidroelectricidad concentra el 70.4% de la Generación Anual con 3,898,980.88 GWh, y el 59.4% de la capacidad instalada (1,098,279.76 MW), Datos mostrados en la figura No. 18 y figura No. 19.

Asia tiene el 28.2%, Norte América el 11.8%, Europa el 10% y Sudamérica el 11.5% de la generación, entre los más importantes.

También son parte interesante las adiciones de capacidad en hidroeléctricas que no han incrementado en comparación con otras fuentes, de acuerdo con las estadísticas de 2006 a 2016 presentadas por IRENA. figura No. 20.

Se prevé que las tecnologías solar y eólica mostrarán un incremento muy considerable en su participación en el periodo 2025-2030, las cuales resultarían competitivas contra cualquier otra fuente de energía, dada las reducciones de costos del 40% al 50%, mientras que en el solar disminuyan en un 25%, esto debido al apoyo político sostenido, el progreso tecnológico y la expansión en nuevos

mercados con mejores recursos renovables, según fuente Bloomberg New Energy Finance.

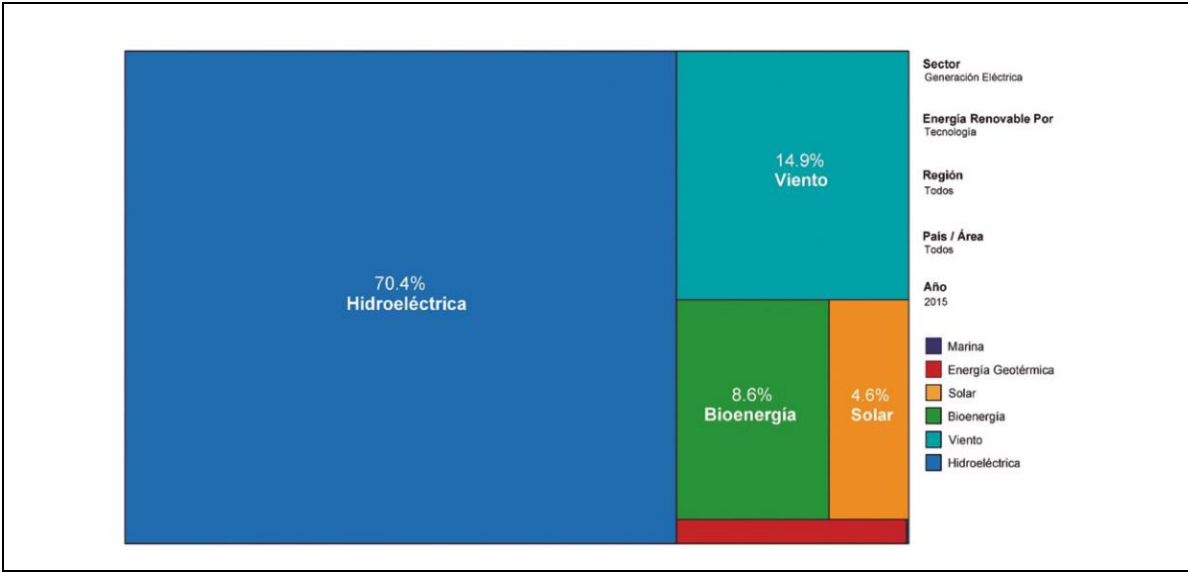


Figura 18. Tecnologías de energía renovable. Generación mundial de energías limpias en GWh, 2015  
[www.resourceirena.irena.org](http://www.resourceirena.irena.org)

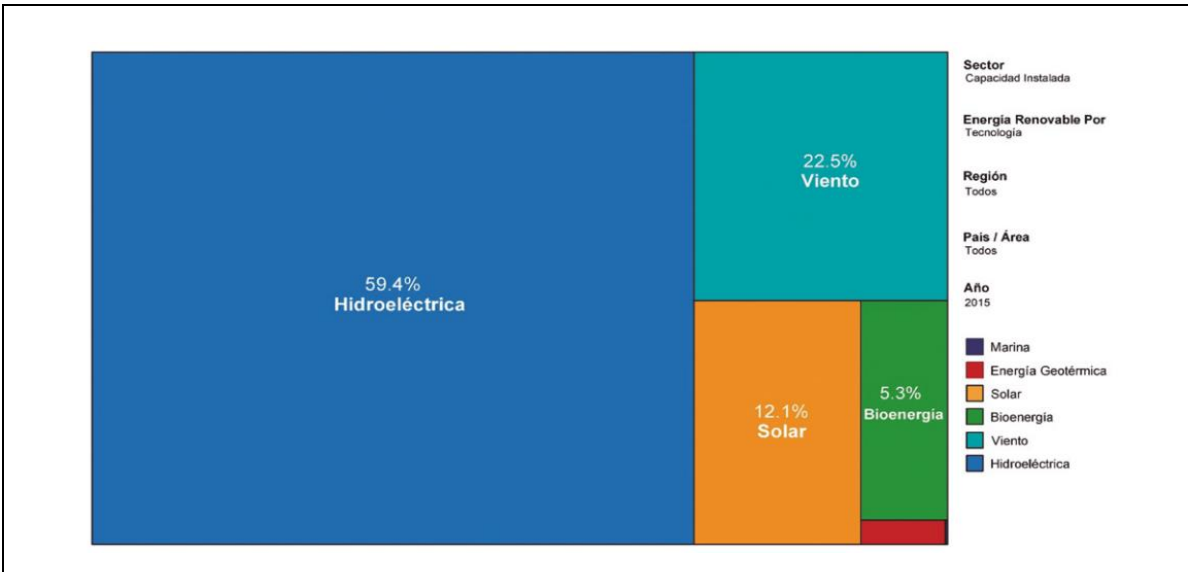


Figura 19. Tecnologías de energía renovable. Generación mundial de energías limpias en GWh, 2015  
[www.resourceirena.irena.org](http://www.resourceirena.irena.org)

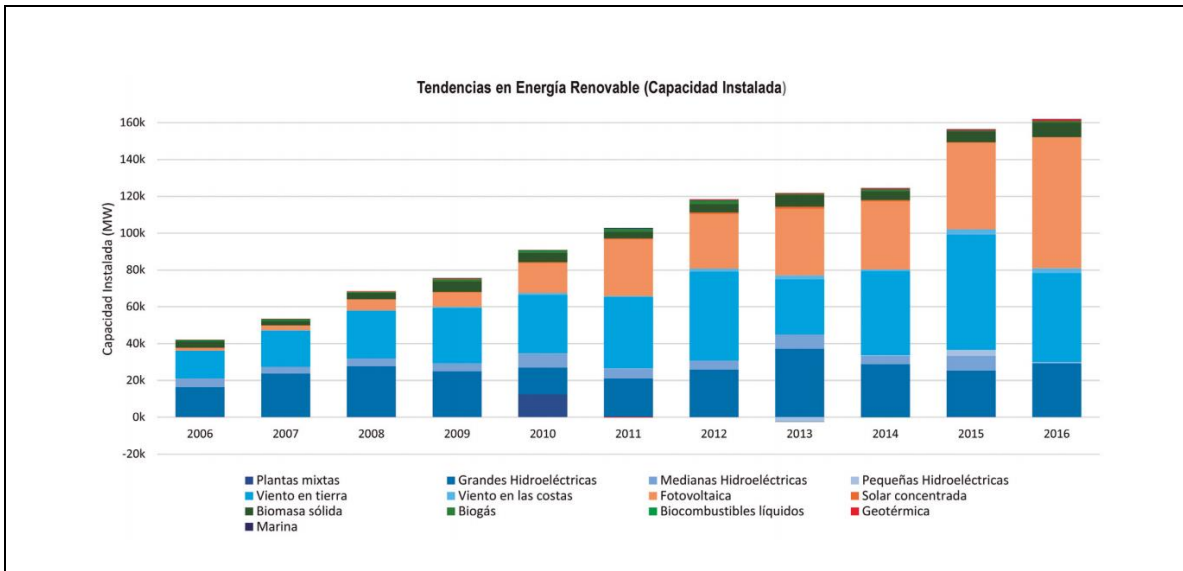


Figura 20. Tendencias en energía renovable (capacidad instalada). Nuevas adiciones de capacidad en energías renovables mundo 2006-2016. [www.resourceirena.irena.org](http://www.resourceirena.irena.org)

De acuerdo con datos del PRODESEN 2017-2031, en el 2016, de la capacidad instalada, el 71.2% proviene de tecnologías convencionales y 28.8% de tecnologías limpias. La generación hidroeléctrica representó el 17% de la capacidad instalada, con 12,589 MW en 84 centrales hidroeléctricas, es decir 1 de cada 4 MW instalados a nivel nacional, la generación anual las energías limpias contribuyen con el 20.3%, es decir 64,868 GWh, donde la hidroeléctricas aportan el 48% de la generación total, datos de Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional, (PRODESEN 2017-2031). SENER, mostrada en la figura No. 21. y figura No. 22.

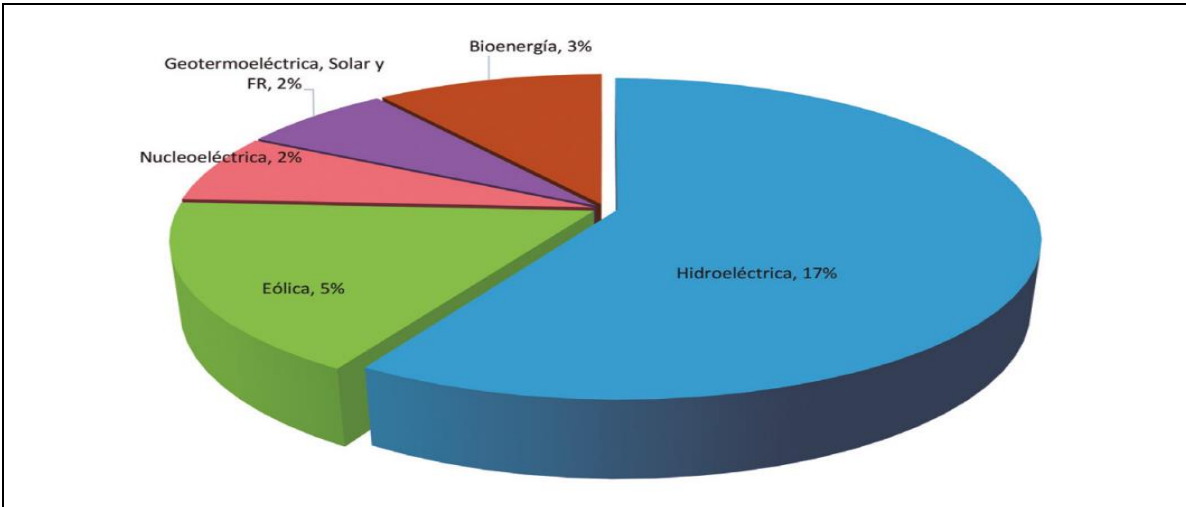


Figura 21. Capacidad instalada para energías limpias 2016 en México, en MW. Fuente: PRODESEN 2017-2031.

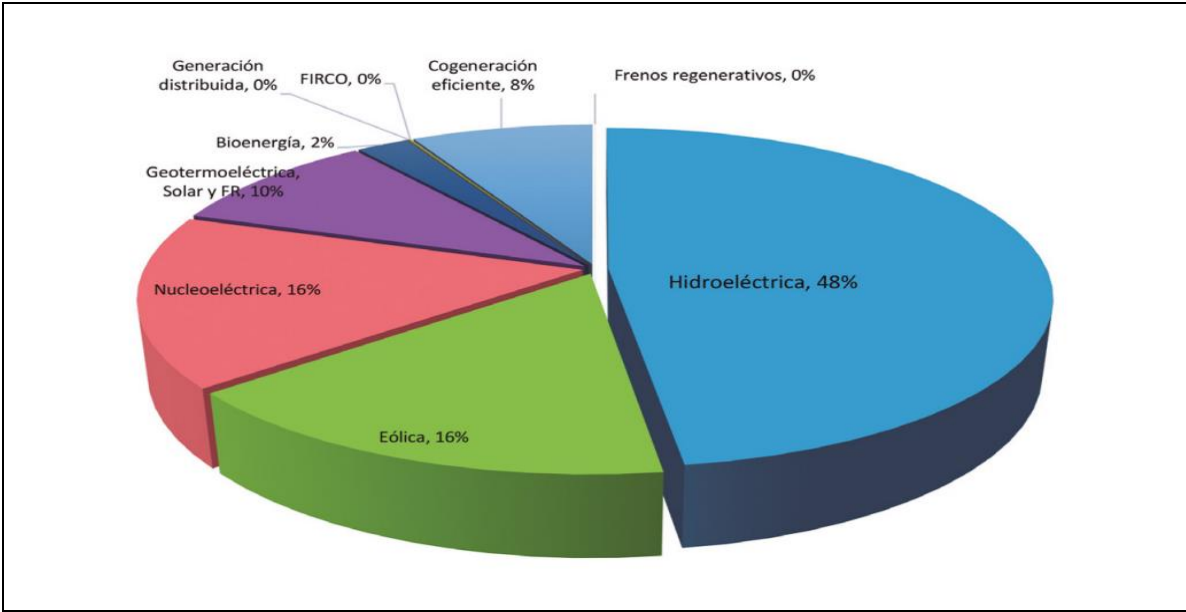


Figura 22. Generación Anual para energías limpias 2016 en México, en GWh. Fuente: PRODESEN 2017-2031.

México es un país con alto potencial para la producción de energías renovables, la siguiente figura muestra la capacidad y generación en centrales hidroeléctricas 2016 (MW/GWh) y Mapa de disponibilidad hídrica, como se muestra en la siguiente figura No.23.

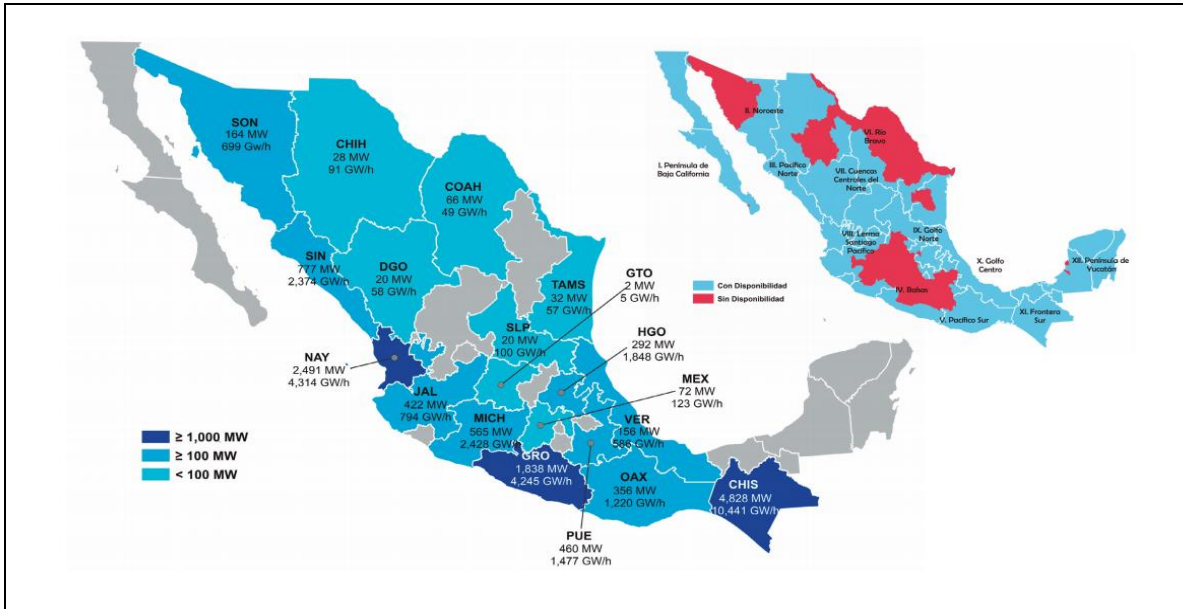


Figura 23. Generación Anual para energías limpias 2016 en México, en GWh. Fuente: PRODESEN 2017-2031.

Evolución esperada de la capacidad instalada y la generación hidroeléctrica según el gobierno federal a través de la Ley de Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE), tiene la meta que en el 2024 el 35% de la capacidad instalada en México provenga de fuentes limpias, por lo cual en las siguientes figuras se muestran las gráficas por tipo de tecnología estimada y por capacidad instalada por tipo de tecnología proyectadas para el 2031.

Para el año 2031 se espera en Energías Limpias (EL), una capacidad total de 113,269 MW (50%) y una generación eléctrica de 456,683 GWh (46%). Prospectiva de Energías Renovables, PROER 2016-2030. SENER. figura No. 24 y figura No. 25.

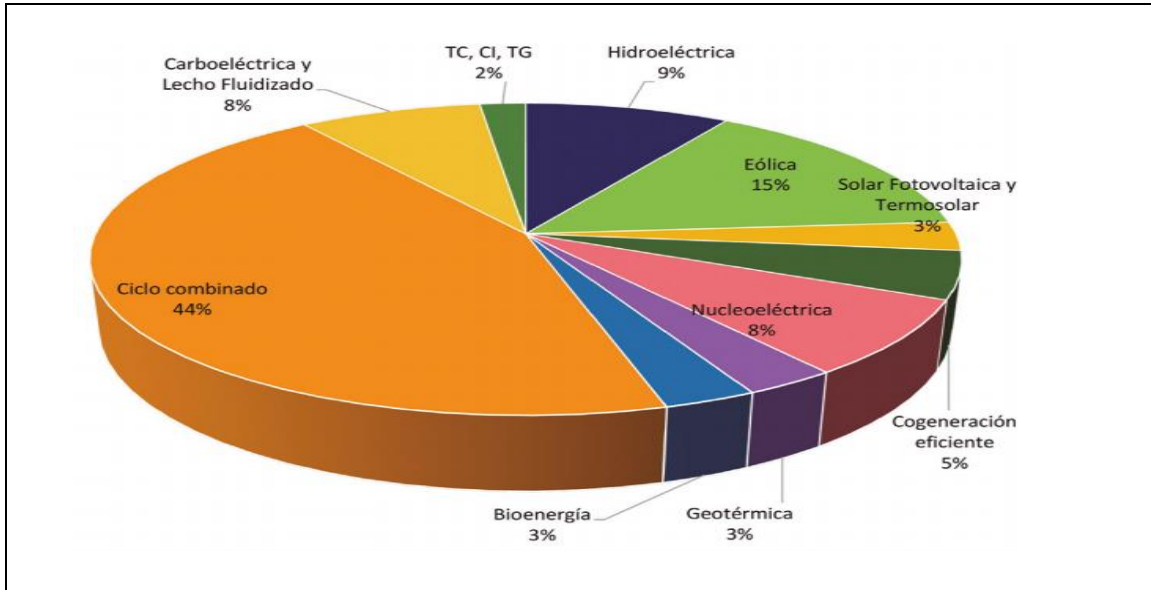


Figura 24. Generación por tipo de tecnología estimada para el año 2031. Fuente: PRODESEN. 2017-2031, SENER.

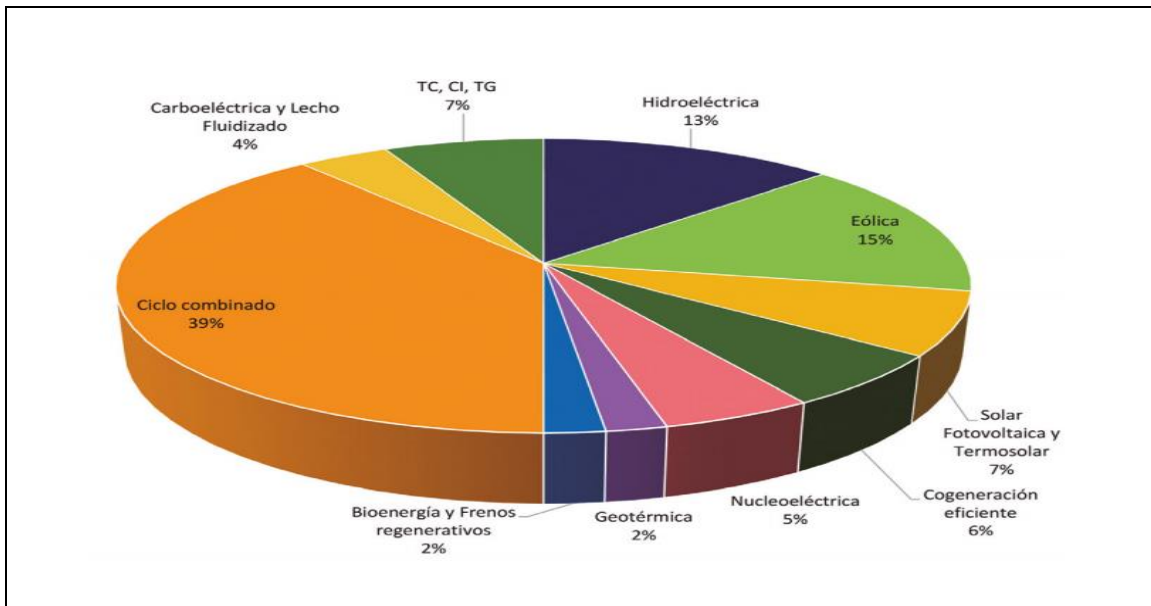


Figura 25. Capacidad instalada por tipo de tecnología estimada para el año 2031. Fuente: PRODESEN. 2017-2031, SENER.

La siguiente correlación (figura No. 26) designa la prospectiva a mediano y largo plazo. La cual fue observada en la Presentación 1er Simposio” Retos y Oportunidades de la Generación Hidroeléctrica en México”, 26 de octubre. IMTA-INEEL.



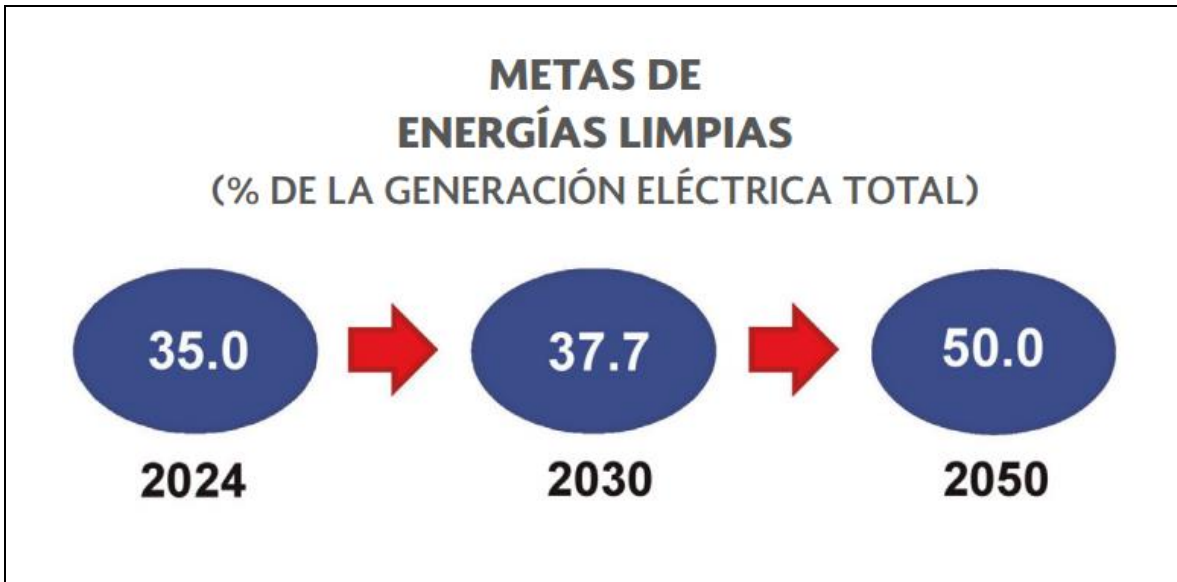


Figura 26. Prospectiva a mediano y largo plazo. Fuente SENER.

La Reforma Energética mexicana, avanza en su proceso de implementación, durante el 2015, nuevas empresas privadas al sector hidrocarburos y a lo largo de este año, se verá la conformación y puesta en marcha del mercado eléctrico mayorista.

La nueva apertura a la inversión privada representa un cambio en el paradigma energético nacional y conlleva modificaciones profundas en la cadena de valor de hidrocarburos y electricidad.

La Reforma Energética a fin de cuentas resultará en observar cómo los mexicanos producimos y consumimos la energía.

También los expertos y organizaciones internacionales en energía y cambio climático han puesto sobre la mesa la urgencia de que en todos los países se generen e impulsen acciones que fomenten el ahorro energético.

De tal manera que, para tomar direcciones hacia las energías renovables y aminorar los efectos del calentamiento global, se está a contra reloj y han advertido sobre el manejo de los recursos, y la generación de más de 2 mil 300 gigatonnes de dióxido de carbono al año, por lo cual puede dar en consecuencia que la temperatura incremente en más de dos grados Celsius, y como resultado de ello aumentar el

desequilibrio, colapsando las condiciones para la vida que como resultado variarían drásticamente.

México intenta mecanismos para la disminución de las emisiones contaminantes derivadas de la generación y el uso de la energía.

Uno de los objetivos que se persigue es que México poco a poco introduzca y utilice combustibles más limpios y mejores tecnologías de acuerdo a las empresas de producción.

Se intenta sustituir el diésel y el combustóleo por gas natural en la generación de electricidad, también que los ingresos de empresas utilicen procesos menos contaminantes para la extracción y transformación del petróleo.

La necesidad de energéticos depende de muchos factores, como lo es también los tipos de consumo de la población, que si va en aumento las necesidades de energía aumentará.

La Organización de las Naciones Unidas declara la siguiente previsión: “que para 2030, el 60 por ciento de la población mundial habitará en ciudades y que actualmente, éstas consumen entre el 60 y 80 por ciento de la energía mundial”.

México construido por sus gobiernos estatales y municipales deben de realizar un trabajo clave para fomentar el uso racional y el ahorro de energía, el cual está íntimamente ligado a posibles resultados que impacten positivamente en una mejor calidad de vida para todos.

México se ha caracterizado por contar con una población creciente en las regiones urbanas, lo cual ha derivado de la migración, que va desde las zonas rurales a las ciudades, por una mayor búsqueda de oportunidades de empleo y mejor calidad de vida.

Lo anterior implica un crecimiento a su vez de la demanda de servicios que se concentran en el consumo de energía eléctrica y de combustibles como:

- sistemas de bombeo de agua,
- alumbrado público,

- transporte colectivo,
- acondicionamiento de espacios e infraestructura,

Todo esto crea una cadena de necesidades por el crecimiento de la huella urbana, por ello se piensa que debe ser indispensable planear e implementar acciones de eficiencia energética en las ciudades con el fin de mejorar el aprovechamiento sustentable de la energía, que podría dar como resultados:

- ✓ Reducción de costos,
- ✓ Disminuir los impactos ambientales locales
- ✓ Disminuir los impactos ambientales globales derivados del consumo.

Se requiere compromiso sobre planes, proyectos, diseños, etc. sobre sector energético nacional a que promuevan y apoyen programas generando acciones sobre las bases de las energías limpias, y mejores prácticas en políticas de eficiencia energética que se dirija a la reducción de emisiones contaminantes para transitar por momentos, pero en forma creciente hacia la sustentabilidad, social, económica y ambiental, en concordancia con los compromisos ambientales globales presentes y futuros.

La Secretaría de Energía con el apoyo del Banco Mundial, desarrolló el “Diagnóstico sobre Eficiencia Energética”, mediante la aplicación de una herramienta rápida de priorización de ahorro de energía en ciudades denominada TRACE (Tool for Rapid Assessment on Cities Energy), que se puede traducir como; “herramienta para la evaluación rápida de la energía de las ciudades”.

El cual permite que los gobiernos locales conozcan sus áreas de oportunidad en materia de ahorro de energía en los sectores de transporte, edificaciones, alumbrado público, residuos sólidos y bombeo de agua.

Lo cual debe traducirse en áreas de oportunidades directas sobre ahorro para los municipios, en sustanciales beneficios sociales y en el cuidado del medio ambiente local y global.

También se espera que se puedan identificar claramente las áreas potenciales de inversión pública o privada y que el gobierno local pueda aprovechar para mejorar los servicios que brinda a la localidad, de tal manera que cree un uso más sustentable y eficiente de la energía.

El banco mundial argumenta mediante el escrito Evolución rápida del uso de la energía del Estado de Veracruz, Veracruz de Ignacio de la Llave, México.

“Los municipios son grandes consumidores visibles de energía que, a través de sus acciones y el buen ejemplo, pueden alentar la eficiencia energética y ayudar a promover el mercado para los productos y servicios de eficiencia energética”

Los municipios cuentan con programas para el apoyo sobre la eficiencia energética, aquí puede surgir la pregunta del qué estas medidas no se implementan en una escala mayor teniendo en cuenta las tecnologías probadas disponibles y cuando el financiamiento no es una restricción.

No se pueden esconder las barreras comunes que enfrentan las inversiones urbanas en eficiencia energética, como las restricciones de tipo regulatorio y legal, la falta de conocimiento respecto de las intervenciones redituables, y la limitada capacidad institucional para diseñar e implementar proyectos.

Pero debido a los objetivos que se persiguen se cuenta en el estado de Veracruz, como apoyo a los Municipios; estudios de evaluación rápida del uso de la energía por parte de los municipios e identifica las oportunidades que existen para el ahorro de energía.

Con esta información, y con el apoyo de otros programas federales y estatales, las autoridades de los municipios de México estarán en mejor posición para planificar e implementar medidas de eficiencia energética costo-eficientes.

México ha formulado el Programa Nacional para el Aprovechamiento de la Energía (PRONASE) que procura promover y apoyar la creación de un acuerdo institucional para el diseño e implementación de políticas, programas, y proyectos de eficiencia energética a nivel subnacional.

La Secretaría de Energía (SENER) lanzó en junio de 2014 un programa nacional urbano de eficiencia energética, el evalúa una variedad de opciones para reducir el uso de la energía en los servicios municipales, incluyendo el alumbrado público, los edificios públicos, el suministro de agua y saneamiento, el transporte público, el sistema de gestión de los residuos sólidos, y dentro de las empresas de servicios públicos (electricidad y gas).

Por otra parte, El Banco Mundial ha participado en programas del uso final de la eficiencia energética desarrollados en México y recientemente ha prestado apoyo en el diagnóstico del uso de la energía a nivel del municipio.

Existen esfuerzos de cooperación entre SENER y el Banco mundial para diseñar e implementar un programa de eficiencia energética nación-municipio, comenzando con evaluaciones del uso de la energía en múltiples ciudades.

Los Municipios son responsables del mantenimiento del alumbrado público y paga a la CFE por el consumo de energía a través de un impuesto local a los consumidores residenciales (impuesto predial).

Veracruz cuenta con un censo de luminarias, sin embargo, hace falta que se modernice la tecnología de luminarias para generar un menor impacto al ambiente y ahorros significativos.

La Energía eléctrica, en todas las ciudades de México, todas las actividades del sector de energía eléctrica de Veracruz se encuentran bajo las facultades de la empresa de servicios del estado, Comisión Federal de Electricidad (CFE).

El consumo total de energía en Veracruz alcanza los 75'183,907 kWh por año lo que sitúa a la ciudad como la de mayor uso del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.

Veracruz consume un promedio de 130.68. kWh de electricidad per cápita y 0.045 KWhe/PIB, lo que la coloca al final de la base de datos de TRACE con un menor consumo incluso que ciudades con clima similar (como la Quezon City y Sydney).

El consumo en general de energía eléctrica del municipio está determinado por el consumo en alumbrado público seguido del generado por edificios municipales.

En todo sector es necesario realizar acciones de mejora de equipos, mantenimiento o revisiones auditorías periódicas que permitan detectar posibles reparaciones que evitarán a largo plazo gastos elevados, contribuyendo además a la disminución de las emisiones al ambiente, ahorros económicos significativos para el municipio y la garantía de que los equipos funcionan de manera eficiente.

## **2.2 RÍOS, ARROYOS Y APROVECHAMIENTO DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

Se ha escrito en esta propuesta sobre temas de la importancia hídrica y el nivel de potencial, pero también se reforzará con conceptos básicos que están debido a una relación de importancia.

Se denomina energía renovable a la que se obtiene de fuentes naturales, las cuales se consideran inagotables; unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras, porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Se basan en los flujos y ciclos implícitos en la naturaleza.

Las energías renovables son de libre disposición, se distribuyen en amplias zonas y su aprovechamiento tiene impactos ambientales pocos significativos.

Las fuentes renovables de energía pueden dividirse en dos categorías: no contaminantes o limpias y contaminantes.

Entre las primeras se encuentran:

- el sol: energía solar
- el viento: energía eólica
- los ríos y corrientes de agua dulce: energía hidráulica
- el calor de la Tierra: energía geotérmica
- los mares y océanos: energía mareomotriz, gradiente térmico, gradiente salino

- las olas: energía undimotriz.

La fuente de energía renovable que se considera contaminante es la que se genera en la transformación de la materia orgánica o biomasa.

### *2.2.1 Energía Hidráulica.*

Es la energía que se obtiene a partir de un volumen de agua en movimiento, y/o almacenada para salvar un desnivel que se refleja en una presión proporcional al mismo.

La energía hidráulica a la que se referirá en esta investigación, es la que se denomina hidráulica de centrales pequeñas y cuya fuente puede ser un arroyo, un canal u otra forma de corriente de caudal moderado.

Se considera que las centrales hidroeléctricas pequeñas, de acuerdo a la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento a la Transición Energética (LAERFTE), son las que producen hasta 30 MW, o las que utilizan un almacenamiento menor a 50 mil metros cúbicos de agua o que tienen un embalse con superficie menor a una hectárea y no rebasan dicha capacidad de almacenamiento de agua.

Se transforma en electricidad por medio de turbinas, que giran por la masa de agua que pasa por su interior, la cual transmite la energía a un alternador el cual la convierte en energía eléctrica.

Otra forma de producir energía eléctrica consiste en hacer en el río una presa pequeña y desviar parte del caudal por un canal con menor pendiente que el río, de modo que unos kilómetros más adelante habrán ganado una cierta diferencia de nivel con el cauce y se hace caer el agua a él por una tubería, con una turbina.

Otro sistema que se emplea es conducir el agua de un arroyo con gran desnivel, por una tubería cerrada, en cuya base hay una turbina.

El agua se recoge en una presa pequeña y la diferencia de altura proporciona la energía potencial necesaria. El equipo necesario para producir energía eléctrica a

partir de la energía hidráulica se integra con la obra civil necesaria para desviar el cauce del agua hacia el generador y regresarla a su cauce original, el hidrogenerador (turbina y generador), la subestación y la casa de máquinas (edificio en que se ubican la(s) turbina(s) y sus generadoras(es) eléctricos, incluyendo la subestación).

La distribución de la electricidad generada con recursos hidráulicos requiere de líneas de distribución para ser incorporada a la red de la CFE

Es pertinente dejar en claro desde este punto las ventajas de las fuentes renovables, la producción de energía con recursos renovables presenta grandes ventajas ambientales, económicas y sociales.

### 2.2.2 Ventajas Ambientales.

La principal ventaja ambiental de la producción de energía con recursos renovables es la prácticamente nula emisión de GEI y otros contaminantes y se muestran en la Tabla 8.

GENERACIÓN DE EMISIONES DE CO <sub>2</sub> POR 1 KWH					
Carbón	Combustóleo	Gas natural	Biomasa*	Eólica	Solar
1 kg.	860 gr.	400 gr.	0 gr.	0 gr.	0 gr.

Fuente: IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Gobierno de España.

Tabla 8. GENERACIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR 1 KWH. <http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC>

El consumo de energía eléctrica (kWh per cápita) en nuestro país es de 2,012 kWh, en Estados Unidos de Norteamérica es de 12.954, en España es de 5.5732, según el Banco Mundial.

### 2.2.3 Ventajas Económicas.

Entre las ventajas económicas que se obtienen de la generación de energía eléctrica con recursos renovables, están:

- La reducción de las tarifas,
- La generación de empleos directos
- Trabajadores de la construcción,



- Desarrolladores,
- Fabricantes de equipo,
- Diseñadores,
- Instaladores,
- Financieros,
- La generación de empleos indirectos
- En la agricultura, al expandir los sistemas de riego,
- En la ganadería y avicultura, con la instalación de establos electrificados,
- En el comercio y los servicios.

Para los ayuntamientos, otra ventaja importante es la reducción del costo de los servicios municipales de energía eléctrica (alumbrado público, bombeo de agua y edificios públicos), ya que el consumo de energía eléctrica representa un alto porcentaje de sus gastos de operación.

#### *2.2.4 Ventajas Sociales*

La principal ventaja social consiste en la posibilidad de llevar energía eléctrica a comunidades remotas, y en la promoción del desarrollo de dichas comunidades.

Por lo anterior sobre las ventajas en los ejes ambientales, económico y social, es necesario optar por diversificar las tecnologías para la generación eléctrica a fin de que la oferta se adecue a las condiciones del entorno en el que se pretende satisfacer la demanda de electricidad.

Las centrales de generación eléctrica en la actualidad son básicamente de dos tipos tecnológicos: primarias renovables o no renovables.

Debido a diversos factores como; el crecimiento de las energías renovables, aunado al incremento constante de los precios de los combustibles fósiles, la creciente preocupación mundial por el efecto que generan en el cambio climático, ya que se estima que las emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) tendrán un alto costo a futuro, tanto ambiental como económico.

Se busca mostrar la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables de los miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

Se espera que, a nivel global, para el año 2040, el esquema energético del sector eléctrico se diversifique de tal manera que exista menos dependencia de fuentes contaminantes y se utilice en mayor proporción las fuentes renovables para satisfacer la demanda.

Los pronósticos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) son conservadores; pese al cambio constante de las políticas energéticas, sigue considerándose al carbón como un recurso básico para la generación de electricidad a nivel mundial.

#### *2.2.5 Generación Hidroeléctrica.*

En México, el potencial hidroeléctrico de gran, mediana y pequeña escala como es el caso de las turbinas mini o micro donde su primordial propósito es explotación de los recursos hidrológicos del país.

Dentro de las características a considerar del recurso hidráulico, es su estado variable, esto significa que el caudal puede ser inestable a lo largo del año. Siendo necesario conocer su magnitud promedio.

La energía hidroeléctrica a pequeña escala se refiere a la utilización de la energía hidráulica a través de centrales hidroeléctricas pequeñas descentralizadas que, en general, suponen un impacto medioambiental relativamente menor.

La mayoría de las instalaciones se instalan en ríos pequeños y no disponen de lago almacenador, sino de embalses de diferentes tamaños y construcción.

En México, la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) establece como renovable a los proyectos hidroeléctricos con capacidad hasta 30 MW.

Cabe aclarar que no existe un consenso internacional sobre la definición de las centrales hidroeléctricas pequeñas.

La clasificación más extendida actualmente de las centrales hidroeléctricas pequeñas se define en la siguiente Tabla 9.

<i>Clasificación</i>	<i>kW</i>
<i>Micro</i>	<i>1-100</i>
<i>Mini</i>	<i>101-1,000</i>
<i>Pequeña</i>	<i>1,001-10,000</i>

Tabla 9. Clasificación de pequeñas centrales hidroeléctricas.

En nuestro país se considera minihidráulica a toda central hidroeléctrica menor a 10 MW, estas plantas generadoras actualmente ubicadas en los estados de Veracruz, Hidalgo, Puebla y Michoacán.

La industria de la energía del océano y ríos puede proporcionar una nueva fuente importante de electricidad, llegando hasta 200 GW de capacidad de generación instalada en el año 2025.

Más de 300 proyectos hidrocineéticos ya están en trámite en todo el mundo.

Las turbinas que se utilizan con fluidos de agua libre para la generación de energía, sin necesidad de construcción de presas para la generación, donde se encuentran la categoría de corrientes de agua son:

- Corriente de los ríos.
- Corrientes de mareas.
- Corrientes oceánicas.
- Riegos y otros canales hechos por el hombre.

La producción de energía eléctrica por medio de hidroeléctricas mediante la aplicación de tecnologías como hidrocineética, se desarrolla con el fin de amoldarse con el generador, la transmisión y la turbina

La Hidroenergía por diseño en México, ya ha sido utilizada en río y arroyos que producen energía, la cual a su vez garantiza la conservación, esto emitido por The Nature Conservancy (TNC).

En la energía de los ríos está una de las claves para combatir el cambio climático, pero para que sea así la infraestructura hidroeléctrica tiene que planearse con una visión integral, sistémica y de largo plazo.

En Coatzacoalcos, en México, The Nature Conservancy ha mostrado cómo lograrlo.

El cambio climático ha hecho más urgente que nunca abandonar los combustibles fósiles y aprovechar otras fuentes de energía.

Los ríos, con su enorme fuerza y un caudal, parecerían los candidatos ideales para producir energías limpias, pero la construcción de presas y la instalación de turbinas puede implicar un grave riesgo para la biodiversidad si no se hace con cuidado.

Por eso es tan importante el impulso que The Nature Conservancy está dando a la Hidroenergía por Diseño en México y en todo el mundo.

Con la energía hidroeléctrica, se evita la emisión de tres gigatoneladas de gases de efecto invernadero a la atmósfera, en torno al diez por ciento del total de las emisiones del planeta.

La infraestructura necesaria para aprovecharla implica impactos muy severos para la biodiversidad, a la vez que entra en competencia con otros usos del agua, como la agricultura, o para dar de beber a ciudades y pueblos.

La hidroenergía por diseño es un enfoque de planificación y gestión integral de la energía hidroeléctrica a escala de macrocuenca que permite evitar estos impactos negativos.

Esta nueva forma de planeación e implementación permite articular y conjugar los intereses de distintos sectores e incorporar temas sociales y ambientales desde las etapas iniciales para promover la sostenibilidad y optimizar la retribución de los beneficios.

Un ejemplo de cómo se logra esto es el trabajo que The Nature Conservancy lleva a cabo en el río Coatzacoalcos, uno de los afluentes más importantes que desembocan en el golfo de México.

La unión de planes energéticos de la Secretaría de Energía (SENER), y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) junto con la Asociación Mexicana de Energía Hidroeléctrica (AMEXHIDRO), y con 700 mil dólares de financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo, The Nature Conservancy aplica herramientas de evaluación, diagnóstico y planeación desarrolladas con base en ciencia para reducir la conflictividad de los proyectos hidroeléctricos en la cuenca y, con ello, reducir el riesgo para las inversiones.

Con este esfuerzo de planeación sistémica a nivel de macrocuenca, se podrán evaluar los impactos que dichos proyectos tendrán en la industria y la agricultura, en la vida de pueblos y ciudades de Veracruz (uno de los estados más ricos cultural y naturalmente en México), y en la biodiversidad que habita el río y le da vida.

El gobierno mexicano podrá también evitar conflictos y desarrollar mecanismos innovadores de diagnóstico, negociación y evaluación para hacer que la producción de energía a partir de los ríos no sólo beneficie a los usuarios de esa energía, sino que se convierta en garantía de conservación y desarrollo también para las comunidades locales.

El enfoque de Hidroenergía por Diseño, es otra opción para lograr combatir el cambio climático y a su vez una forma de impulsar el desarrollo.

De manera general puede describirse el actual sistema energético a nivel mundial como una generación de energía a partir de combustibles fósiles como lo son el petróleo, el carbón mineral y el gas.

Estas formas convencionales de energía han dado partida a diversos análisis por diversas razones:

- Son recursos limitados que se encuentran en puntos concretos del planeta.

- Su uso a gran escala está provocando graves efectos sobre el medio ambiente y la salud de los seres humanos.
- Se están agotando las reservas naturales comprometiendo el futuro de las nuevas generaciones.

La sensibilización de los ciudadanos se ha inclinado por la necesidad de proteger el medio ambiente y emplear métodos no contaminantes de producción de energía.

La comunidad científica también ha realizado su parte definitiva de propuesta mediante análisis y diversas proyecciones, por mencionar un eje; sobre la existencia del cambio climático.

Hay pruebas que la temperatura media de la Tierra ha sufrido un aumento durante el siglo XX de  $0,6 \pm 0,2$  ° C, aunado a la situación actual de la cobertura del hielo ártico y un aumento de la frecuencia e intensidad de los denominados desastres naturales como huracanes, sequías y lluvias torrenciales.

Dando como resultado una serie de compromisos políticos internacionales buscando un modelo de desarrollo sostenible: Cumbre de las Naciones Unidas de Río de Janeiro (1992) –donde surgió el plan de acción Agenda 21– y de Johannesburgo (2002); Protocolo de Kioto, adoptado en la Convención Marco del Cambio Climático de las Naciones Unidas de 1997 y ratificado en febrero de 2005; Declaración del Milenio (2000); y Plan de acción de la Conferencia de Bonn sobre Energías Renovables de junio de 2004.

El índice de consumo mundial de energía comercial es miles de veces inferior a los flujos de energía que recibe la Tierra procedente del Sol.

La energía hidroeléctrica, que indirectamente proviene de la energía solar, comparte las ventajas de ser autóctona, limpia e inagotable como el resto de las energías renovables.

Proyectos e implementaciones a gran escala de esta fuente de energía tiene un campo de expansión limitado, ya que en los países más desarrollados la mayoría de los ríos importantes ya cuentan con una o varias centrales, y en los países en

vías de desarrollo los grandes proyectos pueden chocar con obstáculos de carácter financiero, ambiental y social.

A menor escala, sin embargo, la generación de electricidad con minicentrales hidroeléctricas sí ofrece posibilidades de crecimiento, debido a la diversidad de caudales que aún son susceptibles de ser aprovechados con las nuevas tecnologías.

En México el Potencial de pequeña, mini y micro generación son estructuras hidráulicas existentes y consideradas con potencial de generación, se consideran aquellas con uso principalmente en riego, y por lo tanto cuentan con una obra de toma y su viabilidad técnica y económica de cada uno de los sitios de infraestructura hidráulica existente seleccionados, depende directamente de la capacidad de a instalar (MW) y la generación media anual que pueda producir (GWh).

De acuerdo con esto, se identifican 362 estructuras hidráulicas que tienen esas características y en los rangos de pequeña (menor a 30 MW), mini (1 a 5 MW) y micro (menor a 1 MW).

La suma del potencial identificado es de 484.41 MW y 1,697 GWh de generación anual.

En pequeña generación se identifican 25 presas que suman 279.85 MW, de acuerdo con datos del SISP 12, y una generación media anual de 981.10 GWh.

En minigeneración, se identifican 81 estructuras que suman 162.25 MW y una generación de 568.52 GWh. El resto son microgeneración.

Es una alternativas comprobada, aceptada y existente mostrada como otro tipo de alternativas, por otro lado, también es aceptado por la Agencia Internacional de la Energía que concluye que mientras aumentan las previsiones de crecimiento del consumo de petróleo, bajan las reservas a nivel mundial.

La utilización de tomar la energía del petróleo de manera generacional en el tema de energía crea una dependencia exterior de los países importadores, haciendo a la vez vulnerable su sistema energético frente a posibles crisis del sector petrolífero.

Otro factor que es importante resulta en el incremento del precio del crudo y el gas que día a día crea tensiones en el mercado eléctrico.

Por ello, se esclarece que las energías renovables nuevamente se convierten en una fuente segura de energía, que podría minimizar la dependencia energética exterior al permitir mayor autonomía de los sistemas energéticos nacionales.

La superficie terrestre está cubierta en un 71% de agua. La energía hidroeléctrica proviene indirectamente de la energía del sol, responsable del ciclo hidrológico natural.

La radiación que procede de las fusiones nucleares que se producen en el sol calientan la superficie terrestre, ríos, lagos, arroyos y océanos, provocando la evaporación del agua.

El aire caliente transporta el agua evaporada en forma de nubes y niebla a distintos puntos del planeta, donde cae nuevamente en forma de lluvia y nieve.

Una parte de la energía solar permanece almacenada en todos los sistemas de agua.

Por lo cual los pequeños sistemas como arroyos como fuentes de energía pueden transformar ese almacén a electricidad y ser aprovechada a diferentes escalas o niveles de necesidad para comunidades.

La energía de primera instancia o fase se transforma primero en energía mecánica con ayuda del sistema de una turbina hidráulica, de tal manera que ésta activa el generador, que se transforma en una segunda fase la energía mecánica en energía eléctrica.

Un pequeño aprovechamiento comprende una central hidroeléctrica de pequeña escala que, dependiendo de su potencia, puede abastecer de energía tanto a la red pública como a una pequeña vivienda o establecimiento rural alejado de la red de distribución.

Por ello; los pequeños aprovechamientos se caracterizan por no requerir los prolongados estudios técnicos, económicos y ambientales asociados a los grandes



proyectos, y se pueden iniciar y completar más rápidamente, lo que los torna una opción de abastecimiento viable en aquellas zonas y regiones del país no servidas aún por sistemas convencionales, mostrando ya ventajas a partir de estos puntos.

Esto refuerza el punto que: “No existe oposición entre aprovechamientos grandes y pequeños. Mientras los “grandes” abastecen el extenso sistema interconectado, los pequeños proveen electricidad a zonas remotas de una manera comparativamente económica y ambientalmente benigna.”

Igualmente, y dado el hecho que los pequeños aprovechamientos carecen (en general) de un gran reservorio, su impacto ambiental es también comparativamente reducido.

No existe una convención única e internacionalmente aceptada que determine que aprovechamiento es o no pequeño, y cada país adopta su propia definición, de acuerdo con sus necesidades.

Es así como existen pequeñas, mini, y micro fuentes de energía eléctrica que usualmente abastecen sistemas aislados y pequeños consumos dispersos.

Toda esta gama de necesidades de abastecer de energía ha llevado a estructurar revisiones de proyectos de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos.

Cada vez se acrecienta el estudio para la mejora del conocimiento y la promoción de oferta hidroeléctrica de pequeños aprovechamientos, eso da como resultado, establecer un “ranking” u orden de mérito capaz de establecer prioridades en la concreción de los emprendimientos más factibles.

En comparación con los grandes proyectos y con las características de generación distribuida los pequeños aprovechamientos pueden representar:

- Diferimiento o plazo de extensiones de líneas de media y alta tensión y sus pérdidas inherentes.
- Mayor fiabilidad de la red (regulación de tensión/ generación en punta de línea).
- Menores periodos de gestación y construcción.

- Menores montos globales de inversión.
- Menor impacto ambiental.
- Posibilidad de fomento al desarrollo social.
- Posibilidad de calificar proyectos para el mercado mundial de bonos de carbono en emisiones evitadas de gases de efecto invernadero vigente con el mecanismo de desarrollo limpio del Protocolo de Kyoto.

### **2.3 TIPOS DE TURBINA Y SUS CARACTERÍSTICAS.**

Las plantas de energía hidroeléctrica se clasifican, según su forma de funcionamiento:

- Centrales de pasada.
- Centrales con embalses.
- Centrales de bombeo.

En todos los casos, la energía del agua al correr y al caer pone en funcionamiento las turbinas.

A su vez; los generadores acoplados a las turbinas producen electricidad.

Para ello se utilizan tres tipos de turbinas:

- ❖ Pelton.
- ❖ Francis.
- ❖ Kaplan.

De acuerdo con el Equipamiento electromecánico.

La tecnología desarrollada hasta ahora en el área de la energía hidroeléctrica es muy avanzada, ya que se han aplicado los avances logrados en los últimos 150 años.

Las turbinas y el resto de los equipos de una central presentan actualmente una alta eficiencia, cubriendo toda la gama de caudales desde 0,1 a 500 m<sup>3</sup> /s, pudiendo utilizarse hasta 1.800 m de salto neto con rendimientos buenos mecánicos.

Los equipos asociados, como reguladores de velocidad, son de tecnología electrónica, lo que permite alcanzar una gran precisión en la regulación y el acoplamiento de grupos, y el control y regulación de las turbinas se gestiona por autómatas de última generación.

### *2.3.1 Las Turbinas hidráulicas.*

La turbina hidráulica es el elemento clave de la minicentral.

Aprovecha la energía cinética y potencial que contiene el agua, transformándola en un movimiento de rotación, que transferido mediante un eje al generador produce energía eléctrica.

Las turbinas hidráulicas se clasifican en dos grupos: turbinas de acción y turbinas de reacción.

- ✓ En una turbina de acción la presión del agua se convierte primero en energía cinética.
- ✓ En una turbina de reacción la presión del agua actúa como una fuerza sobre la superficie de los álabes y decrece a medida que avanza hacia la salida.

#### **a) Turbinas de acción.**

Son aquellas que aprovechan únicamente la velocidad del flujo de agua para hacerlas girar. El tipo más utilizado es el denominado turbina Pelton, aunque existen otros como la Turgo con inyección lateral y la turbina de doble impulsión o de flujo cruzado, también conocida por turbina Ossberger o Banki-Michell.

#### **Pelton.**

Esta turbina se emplea en saltos elevados que tienen poco caudal. Está formada por un rodete (disco circular) móvil con álabes (cazoletas) de doble cuenco.

El chorro de agua entra en la turbina dirigido y regulado por uno o varios inyectores, incidiendo en los álabes y provocando el movimiento de giro de la turbina. La potencia se regula a través de los inyectores, que aumentan o disminuyen el caudal de agua.

En las paradas de emergencia se emplea un deflector que dirige el chorro directamente al desagüe, evitando el embalamiento de la máquina. Esto permite un cierre lento de los inyectores, sin golpes de presión en la tubería forzada.

Estas turbinas tienen una alta disponibilidad y bajo coste de mantenimiento, además de que su rendimiento es bastante alto (superior al 90% en condiciones de diseño: presenta una curva de rendimiento bastante plana con un rendimiento superior al 80% para un caudal del 20% del nominal).

Las posibilidades que ofrece este tipo de máquina hacen que sea muy apropiada para operar con carga parcial, además de permitir una amplia variación de caudales en su funcionamiento. Se puede instalar con eje horizontal o 48 Minicentrales hidroeléctricas

Caudal de equipamiento	10%	20%	30%	40%	100%	100%	Rendimiento %
50%	60%	70%	80%	90%	0%	10%	20%
30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	Rendimiento turbina Pelton vertical, y con uno o varios inyectores.

Por lo general se combinan: Eje horizontal en las máquinas con uno o dos inyectores. Eje vertical en las máquinas con más de dos inyectores. Esta solución encarece el coste del generador. La turbina Pelton son adecuadas en caídas de 140 a 1.500 mts. (saltos grandes) y caudales pequeños. Sólo se utiliza la energía del agua en movimiento. Desde los inyectores, el agua golpea con mucha presión las paletas del rodete cuya forma se parece a la de un colector. Se utiliza, sobre todo en centrales con embalses, la cual se muestra en la figura No. 27 y también una gráfica de su rendimiento en la figura No. 28.

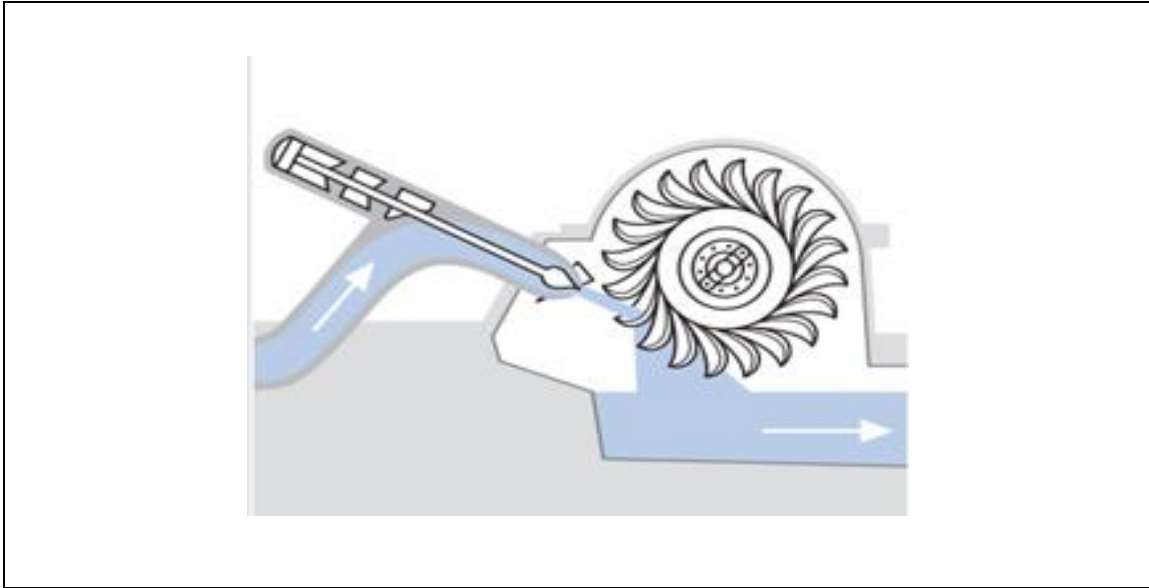


Figura 27. Turbina Pelton.

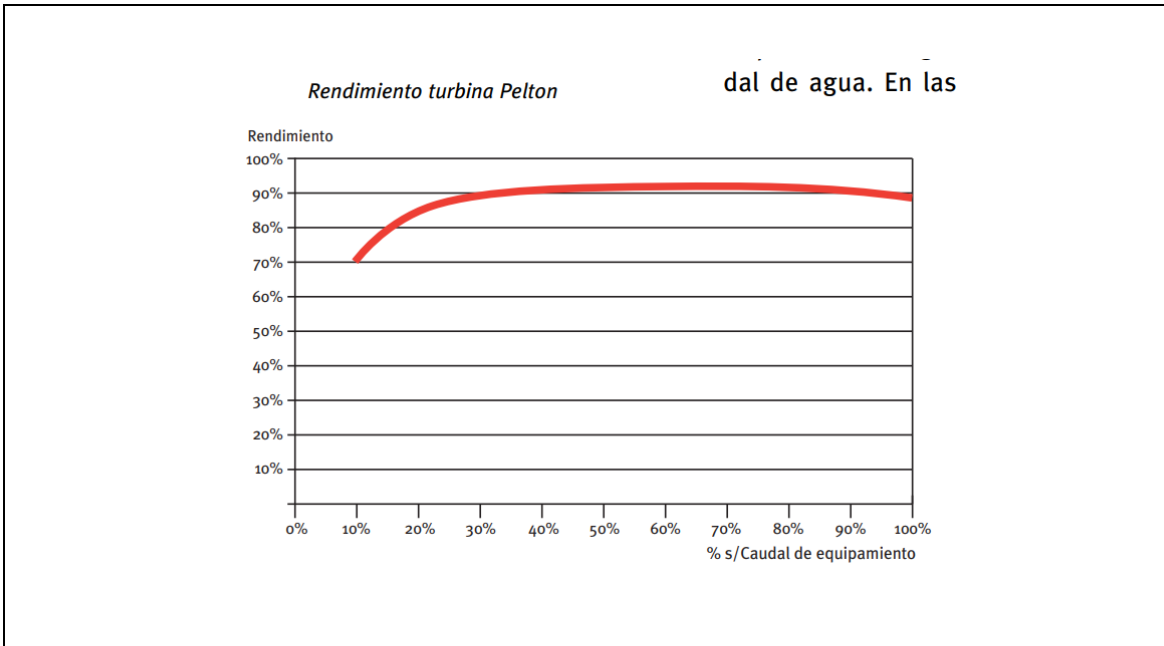


Figura 28. Rendimiento Turbina Pelton.

### Turbina de flujo cruzado.

También conocida como de doble impulsión, Ossberger o Banki-Michell. Está constituida por un inyector de sección rectangular provisto de un álabe longitudinal que regula y orienta el caudal que entra en la turbina, y un rodete de forma cilíndrica,

con sus múltiples palas dispuestas como generatrices y soldadas por los extremos a discos terminales.

El primer impulso se produce cuando el caudal entra en la turbina orientado por el álabe del inyector hacia las palas del rodete. Cuando este caudal ya ha atravesado el interior del rodete proporciona el segundo impulso, al salir del mismo y caer por el tubo de aspiración.

Este tipo de turbinas tienen un campo de aplicación muy amplio, ya que se pueden instalar en aprovechamientos con saltos comprendidos entre 1 y 200 metros con un rango de variación de caudales muy grande. La potencia unitaria que puede instalar está limitada aproximadamente a 1 MW.

El rendimiento máximo es inferior al de las turbinas Pelton, siendo aproximadamente el 85%, pero tiene un funcionamiento con rendimiento prácticamente constante para caudales de hasta 1/16 del caudal nominal, la turbina Ossberger se muestra a continuación en la figura No. 29, así como el rendimiento de la turbina Ossberger figura. No. 30.

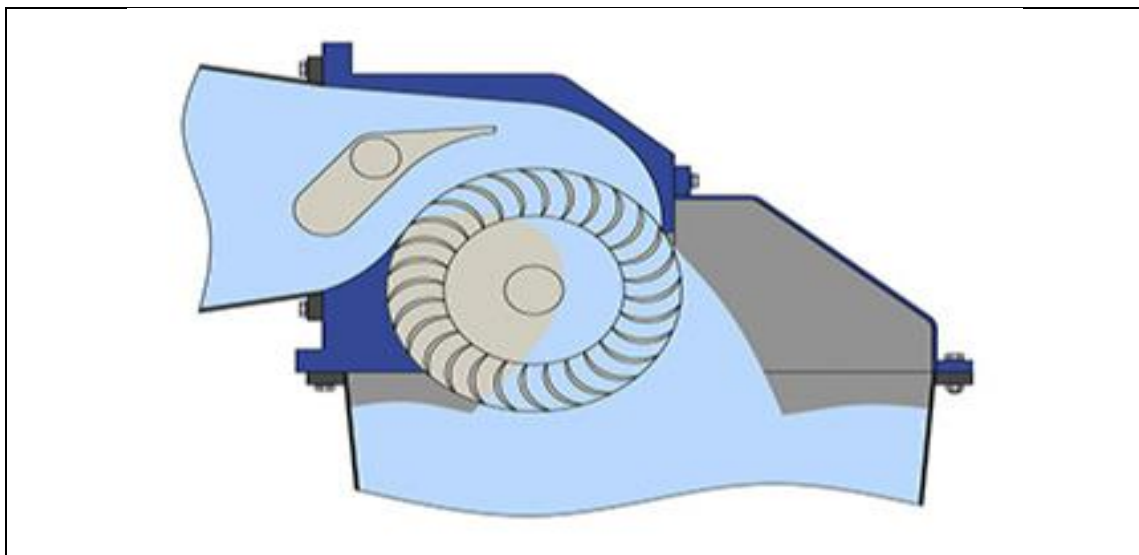


Figura 29. Turbina de flujo cruzado (Ossberger).

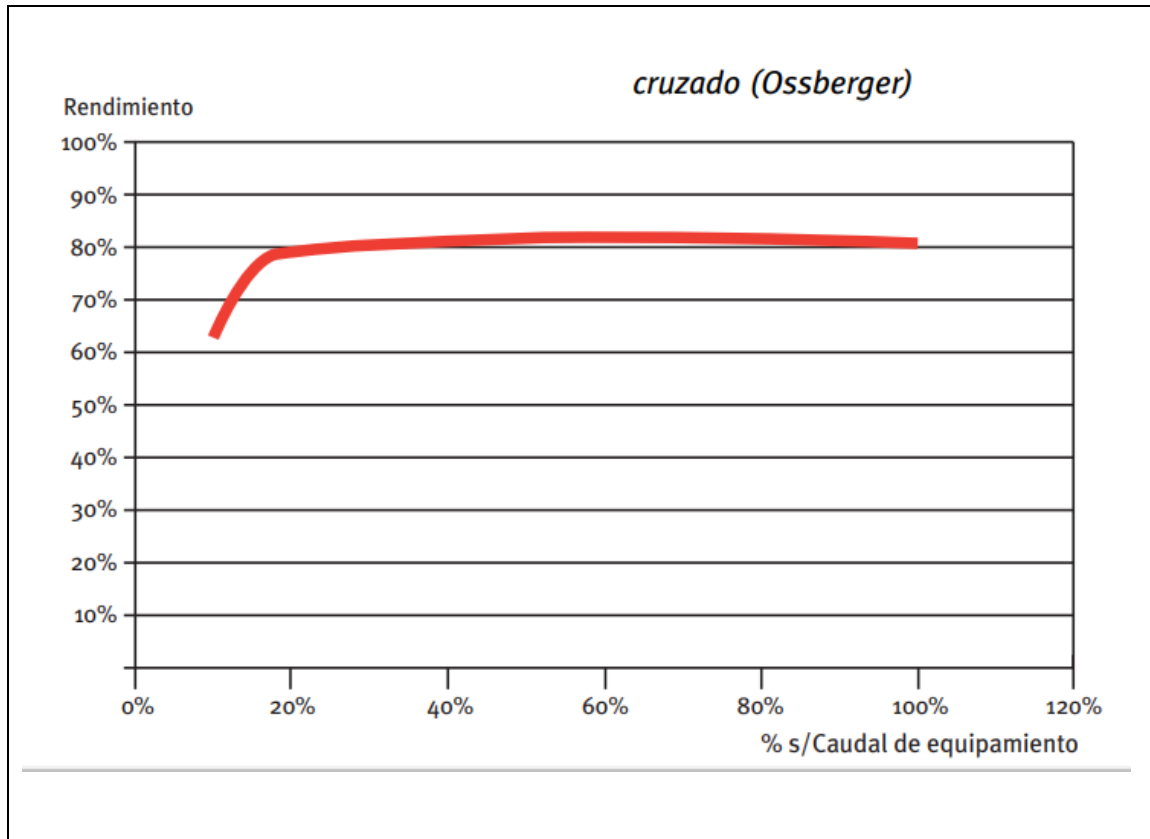


Figura 30. Rendimiento turbina de flujo cruzado (Ossberger).

### **b) Turbinas de reacción.**

Este tipo de turbinas cuentan con un diseño de rotor que permite aprovechar la presión que aún le queda al agua a su entrada para convertirla en energía cinética. Esto hace que el agua al salir del rotor tenga una presión por debajo de la atmosférica. Las turbinas de reacción más utilizadas son las Francis y la Kaplan.

La mayoría de estas turbinas se componen casi siempre de los siguientes elementos:

- Carcasa o caracol. Estructura fija en forma de espiral donde parte de la energía de presión del agua que entra se convierte en energía cinética, dirigiendo el agua alrededor del distribuidor.
- Distribuidor. Lo componen dos coronas concéntricas; el estator (corona exterior de álabes fijos) y el rotor (corona de álabes móviles).

- Rodete. Es un elemento móvil que transforma la energía cinética y de presión del agua en trabajo.
- Difusor. Tubo divergente que recupera parte de la energía cinética del agua.

### **Francis.**

Esta turbina se adapta muy bien a todo tipo de saltos y caudales, y cuenta con un rango de utilización muy grande. Se caracteriza por recibir el fluido de agua en dirección radial, y a medida que ésta recorre la máquina hacia la salida se convierte en dirección axial.

El rendimiento de las turbinas Francis es superior al 90% en condiciones óptimas de funcionamiento. Permite variaciones de caudales entre el 40% y el 105% del caudal de diseño, y en salto entre 60% y el 125% del nominal. - Los elementos que componen este tipo de turbinas son los siguientes:

- Distribuidor. Contiene una serie de álabes fijos y móviles que orientan el agua hacia el rodete. - Rodete formado por una corona de paletas fijas, con una forma tal que cambian la dirección del agua de radial a axial.
- Cámara de entrada. Puede ser abierta o cerrada, y tiene forma espiral para dar una componente radial al flujo de agua.
- Tubo de aspiración o de salida de agua. Puede ser recto o acodado, y cumple la función de mantener la diferencia de presiones necesaria para el buen funcionamiento de la turbina.

La turbina Francis se la utiliza en distancias de caída de 20 a 700 mts. (saltos medianos) con cantidades de agua cuya amplitud de variación no es muy grande. Por medio de las paletas y del distribuidor, el agua es desviada hacia las paletas del rodete, fijas y curvadas en sentido contrario.

La forma espiralada se parece a la casa de un caracol, la cual se representa en la siguiente figura No. 31 y el Rendimiento de la turbina, figura No. 32.



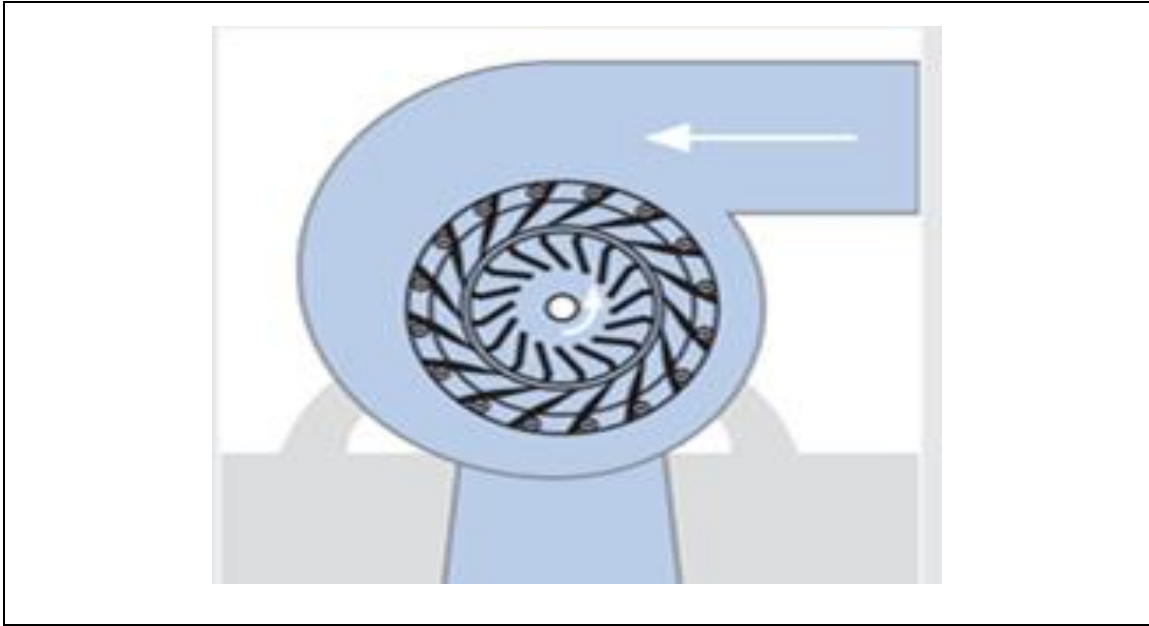


Figura 31. Turbina Francis.

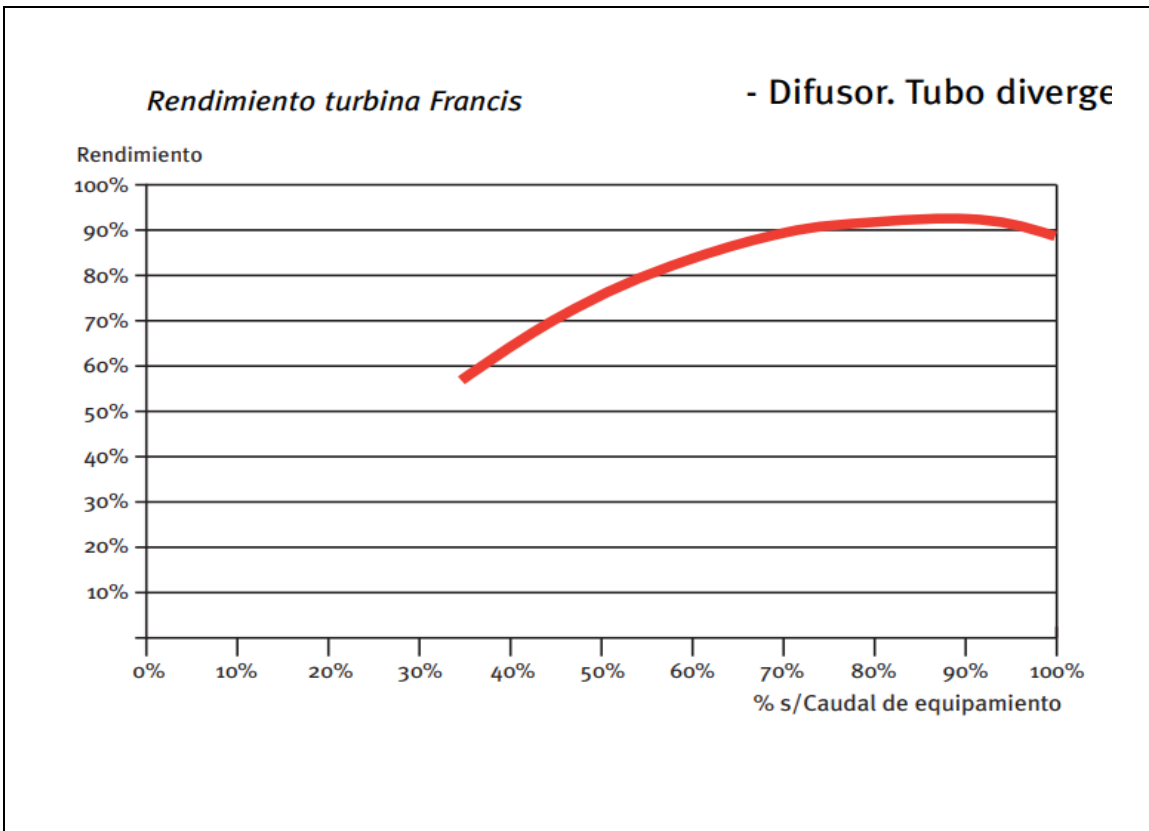


Figura 32. Rendimiento de la Turbina Francis.

## **Turbinas Hélice, Semi-Kaplan y Kaplan.**

Las instalaciones con turbina hélice se componen básicamente de una cámara de entrada abierta o cerrada, un distribuidor fijo, un rodete con 4 o 5 palas fijas en forma de hélice de barco y un tubo de aspiración.

Las turbinas Kaplan y Semi-Kaplan son variantes de la Hélice con diferentes grados de regulación. Ambas poseen el rodete con palas ajustables que les proporciona la posibilidad de funcionar en un rango mayor de caudales.

La turbina Kaplan incorpora un distribuidor regulable que le da un mayor rango de funcionamiento con mejores rendimientos, a cambio de una mayor complejidad y un coste más elevado.

El rendimiento es de aproximadamente el 90% para el caudal nominal y disminuye a medida que nos alejamos de él (ver figura No. 31).

Este tipo de turbinas se emplean generalmente para saltos pequeños y caudales variables o grandes. ¿Cuándo se usa un tipo y otro? En función de las características del aprovechamiento y de los aspectos técnicos y económicos.

- Para una central de tipo fluyente, con un salto prácticamente constante y un caudal muy variable, es aconsejable la utilización de una turbina Kaplan o Semi-Kaplan.
- La turbina de hélice se utiliza en centrales con regulación propia que funcionan con caudal casi constante entre unos niveles máximo y mínimo de embalse.

La variación admitida en el salto en estos tres tipos de turbina es del 60% al 140% del diseño, y en caudal, del 40% al 105% del caudal nominal para la Hélice, del 15% al 110% para las Kaplan, situándose la Semi-Kaplan entre ambas.

La implantación de este tipo de turbinas suele ser con eje vertical, en cámara abierta o cerrada, aunque en ocasiones es más conveniente otro tipo de instalaciones con eje horizontal o ligeramente inclinado, como las turbinas tubulares o bulbo.

**Tubular.** Se denominan turbinas tubulares o en “S”. Su implantación puede ser de eje horizontal, inclinado o vertical, y tiene un rendimiento ligeramente superior a las Kaplan en cámara, de entre un 1% o 2%.

**Bulbo.** El generador está inmerso en la conducción protegido por una carcasa impermeable. El rendimiento es aproximadamente un 1% superior al de la turbina tubular. Tiene la ventaja de que la obra civil necesaria se reduce, pero los equipos son más complejos y esto dificulta el mantenimiento.

La turbina Kaplan. Sus paletas parecen la hélice propulsora de un barco. Es posible ajustar tanto las paletas del rodete como las del distribuidor (mecanismo de cierre). De este modo es posible reaccionar en forma óptima frente a las variaciones en el ingreso de agua. Es ideal para centrales con mucho caudal y una caída baja (hasta unos 50 mts.), mostrada en la figura No. 33.

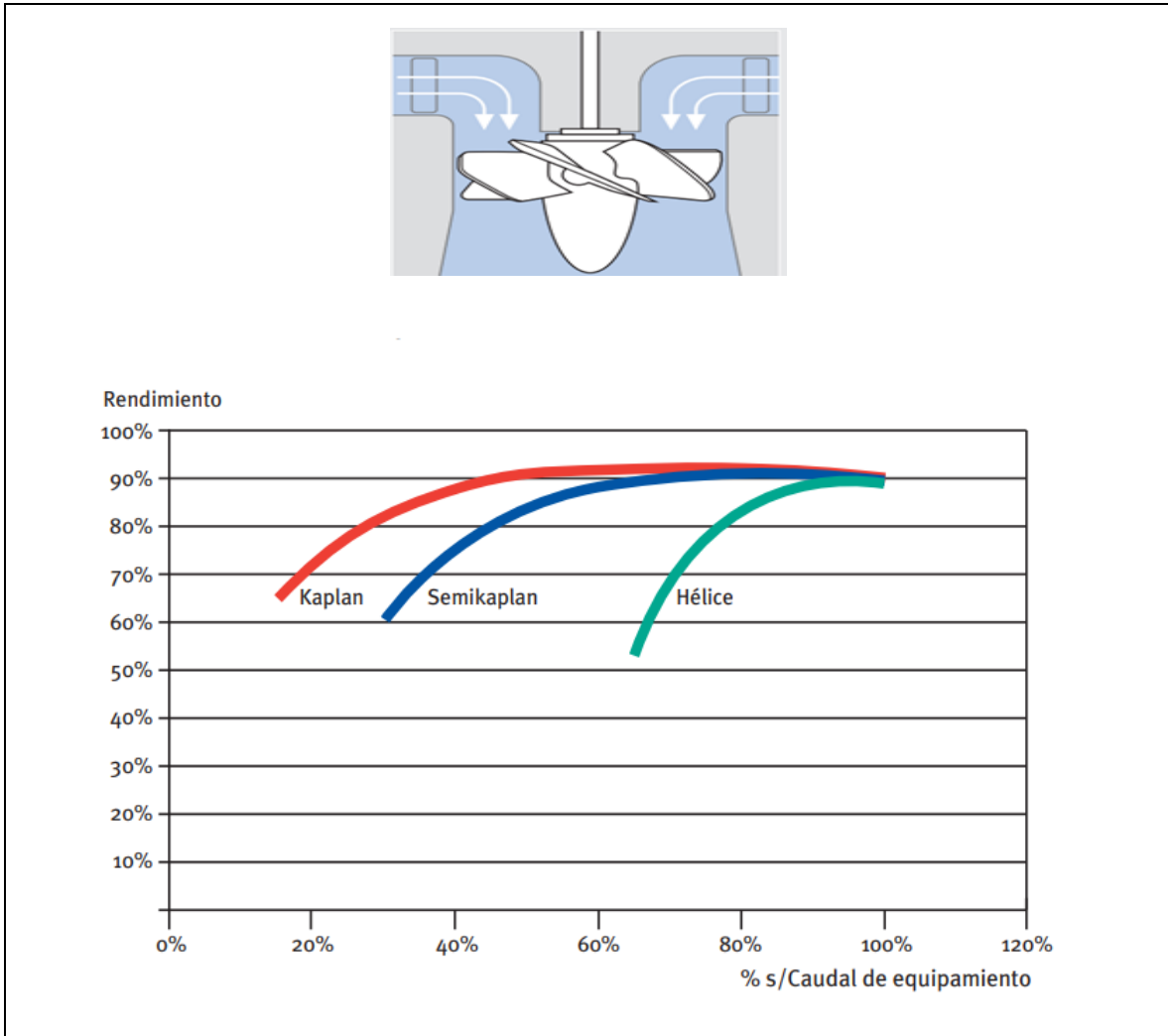


Figura 33. Rendimiento de la Turbina Kaplan, Semi-Kaplan, Hélice.

### Rangos de utilización y rendimientos de las distintas turbinas.

En función del salto (grande o pequeño) y del caudal (variable o constante, alto o bajo), es más conveniente usar un tipo u otro de turbina. Esto es lo que nos indica el rango de utilización.

Además, hay que tener en cuenta la curva de rendimiento de cada turbina, que varía según sea el caudal de funcionamiento. En general, la turbina a utilizar sería:

- Kaplan. Saltos pequeños y caudales variables.
- Francis. Saltos más elevados y variaciones de caudal moderadas.
- Pelton. Grandes saltos, independientemente de la variación de caudal.

A veces, para aumentar la velocidad de giro del rotor del generador puede instalarse un multiplicador de velocidad entre la turbina y éste.

Si se coloca este aparato, el tamaño del generador disminuye y también su coste, ya que el número de polos del generador disminuye al aumentar la velocidad de giro.

Hay que considerar que el multiplicador de velocidad produce pérdidas mecánicas, alcanzando un rendimiento próximo al 98%, que hay que tener en cuenta en el cálculo de la potencia nominal, así como en la conveniencia técnica-económica de instalarlo o no.

### **El generador**

Es la máquina que transforma la energía mecánica de rotación de la turbina en energía eléctrica. El generador basa su funcionamiento en la inducción electromagnética.

El principio de su funcionamiento se basa en la ley de Faraday, mediante la cual, cuando un conductor eléctrico se mueve en un campo magnético se produce una corriente eléctrica a través de él.

El generador, o alternador, está compuesto de dos partes fundamentales:

- Rotor o inductor móvil. Su función es generar un campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina.
- Estátor o inducido fijo. Sobre el que se genera la corriente eléctrica aprovechable.

En centrales menores de 1000 KW la tensión de trabajo del generador es de 400 ó 660 voltios. Para potencias más elevadas la generación se produce en media tensión (3.000, 5.000 ó 6.000 voltios).

El generador puede ser de dos tipos: síncrono o asíncrono.

## **Síncrono.**

En este tipo de generador la conversión de energía mecánica en eléctrica se produce a una velocidad constante llamada velocidad de sincronismo.

Las bobinas arrolladas crean el campo magnético en los polos del rotor. Para que esto ocurra, por estas bobinas debe circular una corriente eléctrica continua.

Para producir esta corriente continua pueden emplearse diferentes sistemas de excitación:

- Autoexcitación estática. La corriente proviene de la propia energía eléctrica generada, previamente transformada de alterna en continua.
- Excitación con diodos giratorios. Se crea una corriente alterna invertida, con polos en el estátor y se rectifica por un sistema de diodos, situado en el eje común.
- Excitación auxiliar. La corriente necesaria se genera mediante una dinamo auxiliar regulada por un reóstato.

## **Asíncrono.**

Debido a la simplicidad, robustez y bajo costo de los clásicos motores eléctricos, éstos han venido utilizándose como generadores eléctricos sobre todo en centrales de pequeña potencia.

Para ello es necesario que el par mecánico comunicado al rotor produzca una velocidad de giro superior a la de sincronismo. Este exceso de velocidad produce un campo giratorio excitador.

Es importante que la diferencia entre las velocidades de funcionamiento y la de sincronismo sea pequeña, para reducir las pérdidas en el cobre del rotor.

El generador toma la corriente de la red para la creación del campo magnético. También es necesaria la colocación de una batería de condensadores que compense la energía reactiva generada.

El uso de este tipo de generadores no precisa regulador de velocidad en la turbina. Para arrancar el grupo se abre el distribuidor de la turbina hasta que se llega a una velocidad superior a la de sincronismo (aunque próxima a la misma) y en este momento se conecta a la red por medio de un interruptor automático.

### **Equipo eléctrico general y línea.**

El equipamiento eléctrico es necesario en la central hidroeléctrica, ya que es el encargado de la transformación de la tensión, de la medición de los diferentes parámetros de la corriente eléctrica, de la conexión a la línea de salida y de la distribución de la energía.

El transformador de tensión es uno de los elementos fundamentales de este equipamiento. Dependiendo de la tensión de trabajo del generador, la transformación puede ser baja/media o media/alta tensión.

El objetivo es elevar la tensión al nivel de la línea existente para permitir el transporte de la energía eléctrica con las mínimas pérdidas posibles.

El transformador debe contar con un sistema de refrigeración que puede lograrse por convección natural o por circuito cerrado de aceite o silicona. Atendiendo a sus características constructivas existen varios tipos, entre los que cabe destacar los siguientes:

- Transformador encapsulado seco.

Normalmente se instalan en el interior del edificio de la central, minimizando la obra civil asociada a la subestación.

Presenta una menor capacidad de evacuación del calor de pérdidas por lo que es importante tener en cuenta en el diseño un sistema de refrigeración, mediante circulación de aire natural o forzado.

- Transformador en aceite. Requieren la construcción de un cubeto para prever la recogida de aceite ante una fuga o derrame.

Al estar sumergido en aceite y disponer de sistemas de radiadores para la evacuación del calor de pérdidas pueden alcanzar mayores potencias nominales que los secos.

Los equipos eléctricos necesarios se disponen en cuadros eléctricos situados en el interior del edificio central, y básicamente son:

- Disyuntores y seccionadores, que se emplean para la conexión y desconexión a la red.
- Transformadores de medida, tanto de tensión como de intensidad, que facilitan los valores instantáneos de estas magnitudes en diversas partes de la instalación.
- Transformadores de equipos auxiliares, que suministran la tensión adecuada para el correcto funcionamiento de los equipos.
- Pararrayos o autoválvulas, que actúan como descargadores a tierra de las sobreintensidades que se producen.

La línea eléctrica necesaria para transportar la energía producida hasta los centros de consumo o hasta la red de distribución es otro de los puntos importantes a la hora de diseñar y presupuestar el proyecto.

El coste de esta línea puede encarecer notablemente el proyecto, dependiendo de su longitud y de la orografía del terreno.

Las características de la red que hay que conocer son frecuencia y tensión:

- Frecuencia. Dato conocido de partida (50 Hz).
- Tensión. Los valores normalizados varían desde 3 kV hasta 66 kV, 72 kV o incluso 132 kV, dependiendo de las condiciones del punto de conexión.

La tensión nominal de la red existente tiene gran importancia ya que implica una transformación al mismo nivel, que puede suponer un coste elevado si se estuviera condicionado a conectar a una línea de alta tensión.



## **Elementos de regulación, control y protección.**

La instalación de estos elementos es necesaria para regular y controlar el buen funcionamiento de la central, además de los dispositivos de protección que deben colocarse en la central y la línea eléctrica, y que actuarán cuando se produzca algún fallo en la central.

Los principales bucles de control y sistemas de supervisión y mando para una minicentral hidroeléctrica son:

Para el control de la turbina:

- Regulador de velocidad en instalaciones con grupos síncronos.
- Reguladores de nivel para centrales con grupos asíncronos conectados a la red.
- Regulador de potencia generada para centrales en red aislada.
- Regulador de caudal turbinado.

Para el control del generador:

- Regulador de tensión para grupos síncronos.
- Equipo de sincronización, cuando existen grupos síncronos funcionando conectados a la red.
- Baterías de condensadores y un relé taquimétrico, cuando existan grupos asíncronos funcionando conectados a la red.

Para el control de la turbina y el generador se pueden distinguir tres casos, en función del tipo de generador utilizado y del funcionamiento previsto:

- Central con generador síncrono funcionando conectado a la red. Aunque el control de la turbina no necesita un regulador de velocidad porque la frecuencia está mantenida por la red, es conveniente su instalación. El mando del distribuidor se realiza por medio de un servo-oleo hidráulico, y las órdenes de apertura y cierre proceden del regulador de nivel.

El control del generador es una regulación del factor de potencia, ya que al estar conectado a la red está fija la tensión, y la variación de la excitación modifica la potencia reactiva suministrada por el grupo. El equipo automático de sincronización estará provisto de ajuste de velocidad y tensión del grupo, a través de un relé de sincronismo.

- Central con generador síncrono funcionando aislado. Se necesita un sistema de regulación de velocidad y de potencia, para que el control de la turbina asegure el mantenimiento de la frecuencia de la red en cualquier condición de carga.

El control del generador necesita un regulador de tensión que actúe sobre la excitación del alternador, con el fin de mantener la tensión dentro de los límites admisibles.

- Central con generador asíncrono funcionando conectada a la red. No es necesario el control de la turbina al estar mantenida la frecuencia por la red. El mando del distribuidor se realiza mediante un servo-oleo hidráulico, y las órdenes de apertura y cierre proceden del regulador de nivel.

Una batería de condensadores estáticos, controlados de forma continua por medio de tiristores, efectúa el control del generador. Para realizar la conexión del grupo a la red se necesita un detector de velocidad que proporcione una señal cuando el grupo llegue a la velocidad de sincronismo, utilizándose un relé taquimétrico mecánico o eléctrico.

Las protecciones de los sistemas que componen la minicentral actúan al producirse un hecho anormal en su funcionamiento, provocando una alarma, la parada de algún grupo e incluso la parada total de la central.

Esto depende del motivo que haya provocado dicha irregularidad. Las principales causas que pueden accionar las protecciones son:

#### Protecciones mecánicas

- Embalamiento de turbina y generador.
- Temperatura de eje y cojinetes.

- Nivel de circulación del fluido de refrigeración.
- Temperatura de aceite del multiplicador de velocidad.
- Nivel mínimo hidráulico.
- Desconexión de la bomba del aceite de regulación.

#### Protecciones eléctricas del generador y transformador

- Intensidad máxima.
- Retorno de potencia (máxima admitida 5% de la nominal).
- Calentamiento del generador y/o del transformador.
- Derivación en el estátor.
- Producción de gases en el transformador (Buchholz).
- Nivel de tensión (entre el 85 y el 100% de la tensión nominal).
- Nivel de frecuencia (entre 47,5 y 51 HZ).

#### Protecciones de la línea de media tensión

- Derivación de una fase de tierra.
- Cortocircuito o inversión de fases.
- Sobreintensidad.
- Red de tierra, para limitar la tensión con respecto al terreno.

### **Automatización**

La automatización de una minicentral permite reducir los costes de operación y mantenimiento, aumentar la seguridad de los equipos y optimizar el aprovechamiento energético de la instalación.

El grado de automatización va a depender principalmente de la ubicación y el tipo de central, de las posibilidades reales de regulación, y del presupuesto, incluyendo el coste del personal de trabajo. La automatización será total cuando incluya el arranque, regulación y parada de la central, y será parcial cuando mande solamente parada y alarma, en caso de que actúen las protecciones de la central.

En la actualidad todas las centrales de nueva construcción son totalmente automatizadas. De hecho, una de las actuaciones que se viene realizando en el sector hidroeléctrico consiste en la modernización de antiguas instalaciones en explotación para automatizar todos sus equipos y sistemas con objeto de obtener mayores rendimientos energéticos y menores gastos de explotación.

En cuanto a la tecnología se puede distinguir entre:

Convencional. Basada en los relés electromecánicos o estáticos. La utilización de relés convencionales es la forma más sencilla y económica de automatizar una central, aunque tiene la desventaja de ser más limitada. Esta tecnología permite automatizar

- secuencias de arranque.
- secuencias de parada por protecciones.

### **Digital.**

Se refiere a técnicas informáticas que permiten la gestión de todas las funciones de la central. Los equipos de automatización que funcionan con microprocesadores ofrecen un abanico mayor de posibilidades de automatización, siendo posible la programación de distintas secuencias

- arranque y parada normal de grupo.
- parada de emergencia de grupo.
- regulación del grupo por nivel o caudal.
- optimización de funcionamiento del conjunto de la instalación.

Los centros de control remoto sirven para gestionar una o varias centrales automatizadas a través de técnicas de telemando.

Para poder emplear esta opción es imprescindible contar con los equipos informáticos y el software adecuados, que se instalarán en paralelo en la central y el centro de control.

Los equipos más comunes que se pueden considerar como auxiliares dentro de la central son:

- Ventilación.
- Alumbrado normal y de emergencia.
- Equipo de corriente continua empleado para alimentar las bobinas de desconexión del disyuntor y otras bobinas de relés y contactores.
- Bombas para el drenaje de posibles fugas o achique en caso de inundación.
- Batería de condensadores, en caso de que exista grupo asíncrono, para mejorar el factor potencia.
- Puente grúa, aunque en algunos casos pueda ser suficiente una grúa portátil durante el montaje y operaciones de mantenimiento.
- Reja y limpiarrejas.
- Protección contra incendios.
- Agua refrigeración.
- Caudalímetro.

El alto grado de rendimiento que se obtiene en la transformación de la energía en electricidad,

contenida en los ríos y cauces de agua, es muy alto. Por eso, la energía hidráulica como fuente de energía se utiliza casi exclusivamente en la producción de electricidad.

Las minicentrales hidroeléctricas tienen aplicaciones muy diferentes según las necesidades

energéticas que existan en la zona donde se instala, aunque fundamentalmente se emplean en 64 Minicentrales hidroeléctricas

la generación de electricidad con la finalidad de venderla a la red general. En cuanto al potencial para la instalación de minicentrales hidroeléctricas se puede dividir en:

- Rehabilitación de viejas centrales inactivas o antiguos molinos.
- Ampliación de centrales existentes (paradas o en explotación).

- Construcción de nuevas minicentrales sobre conducciones de agua potable o en instalaciones de aguas residuales.
- Integración en canales de riego.
- Nueva construcción en tramos de río libre o pie de grandes presas existentes.
- Aprovechamiento de los caudales ecológicos de grandes presas.

La actual implantación progresiva de caudales pequeños supone una energía perdida que puede ser aprovechable mediante la instalación de una nueva central hidroeléctrica cuyo caudal de diseño sería el correspondiente al caudal ecológico o de mantenimiento.

## **2.4 MARCO LEGAL Y ENERGÍAS LIMPIAS.**

En el contexto de las energías limpias, los programas nacionales e internaciones en su estado actual y prospectiva, que intervienen en las políticas, los ordenamientos y mecanismos legales son:

- La Constitución Política de Los Estados Unidos Mexicanos, en sus artículos 4, 25, 27 y 28.
- Leyes: LGCC, LIE, LCFE, LTE, LEG.
- Reglamentos: LIE, CFE, LTE.
- Planes: PND.
- Estrategias: ENCC.
- Programas: PRONASE; PETE, PEAER y PRODESEN.
- Lineamientos y Normas: MEM

A continuación, el Marco Legal de Leyes en Materia Energética, mostrada en la siguiente figura No. 34. Donde se observa la información responsable para cada entidad.

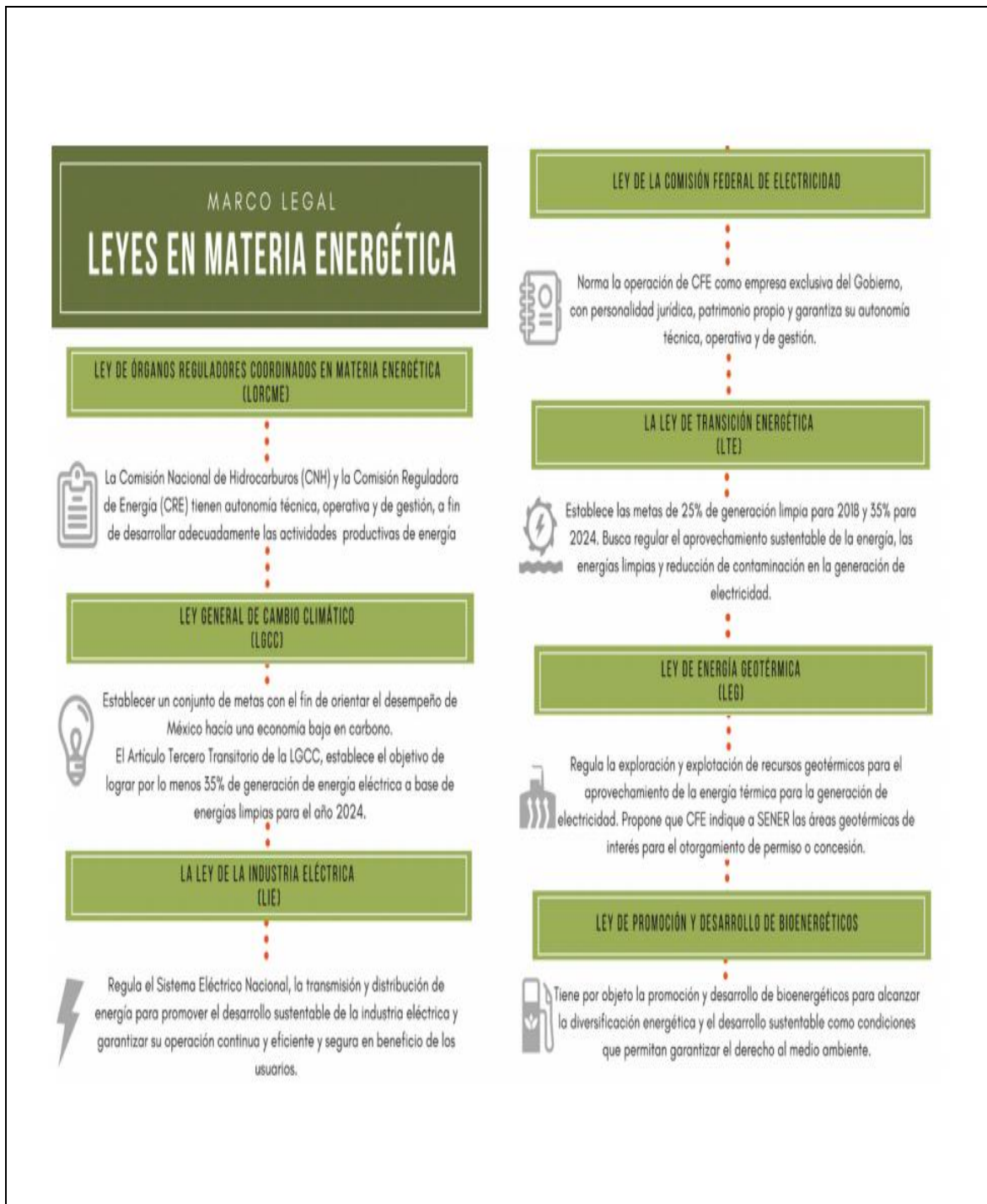


Figura 34. Leyes en Materia Energética. Marco legal México.

De acuerdo con la prospectiva nacional, se espera que en el 2024 se cumpla la meta del 35% de energías limpias y en el 2050 del 50%, para cumplir lo anterior se cuentan con 24 mecanismos legales obligatorios.

Por ello se muestra la siguiente figura No. 35 que muestra el seguimiento de importancia del Marco Legal en materia de Energías Limpias.

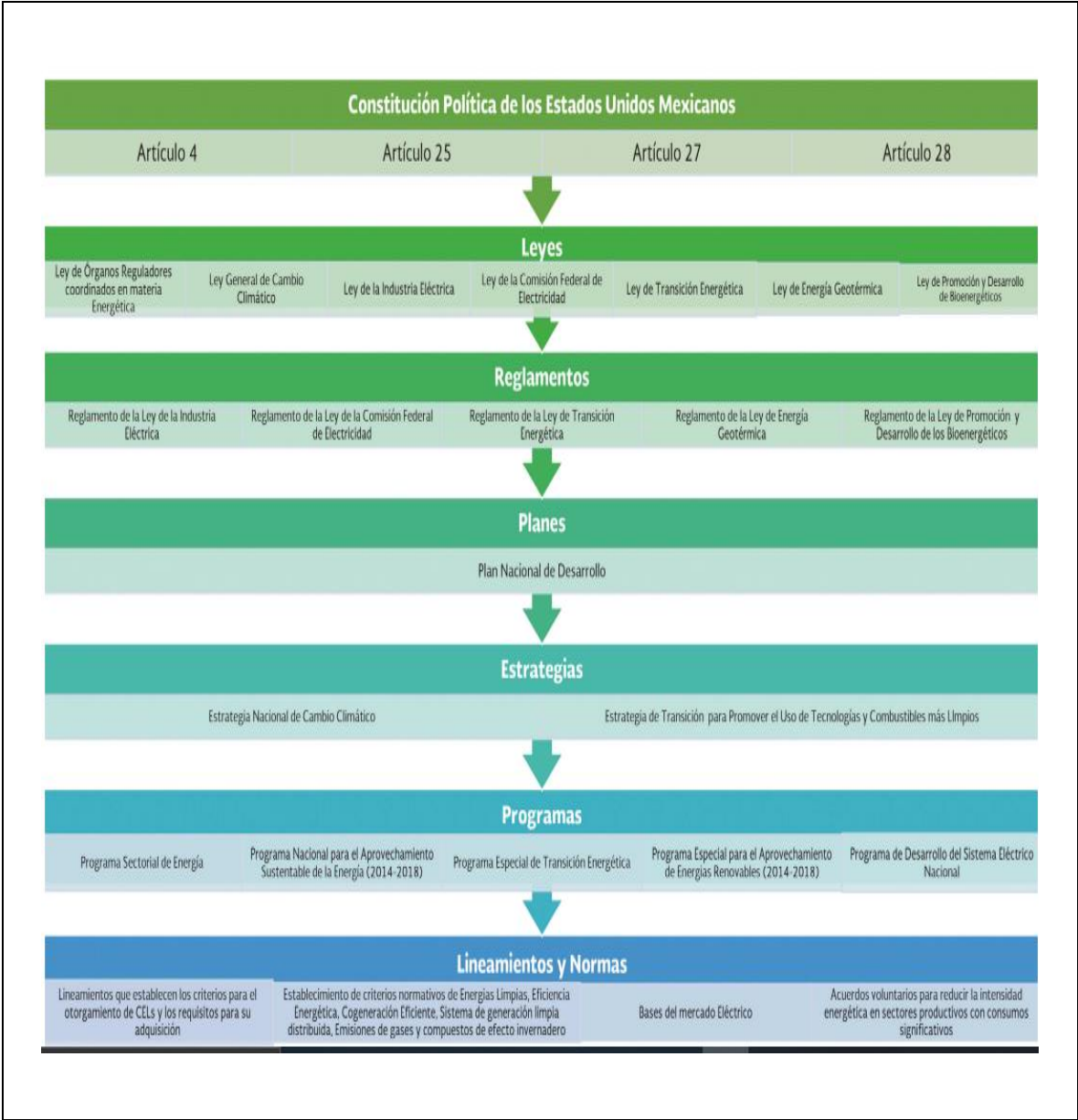


Figura 35. Marco Legal en materia de Energías Limpias.



Ley General de Cambio Climático (LGCC) Una de las principales características de la LGCC es el establecimiento de un conjunto de metas para orientar el desempeño de México hacia una economía baja en carbono, se muestra en la figura No. 36

Se asume una meta de reducirlas 30% al 2020 y un 50% al 2050, en relación con las emitidas en el año 2000.



Figura 36. Principales Objetivos de la Ley General de Cambio Climático.

Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC). La ENCC se alinea a los pilares de la Política Nacional de Cambio Climático, donde está el sector energético, en el cual se busca conservar y usar en forma sustentable los ecosistemas y mantener los servicios ambientales que proveen (figura No. 37).

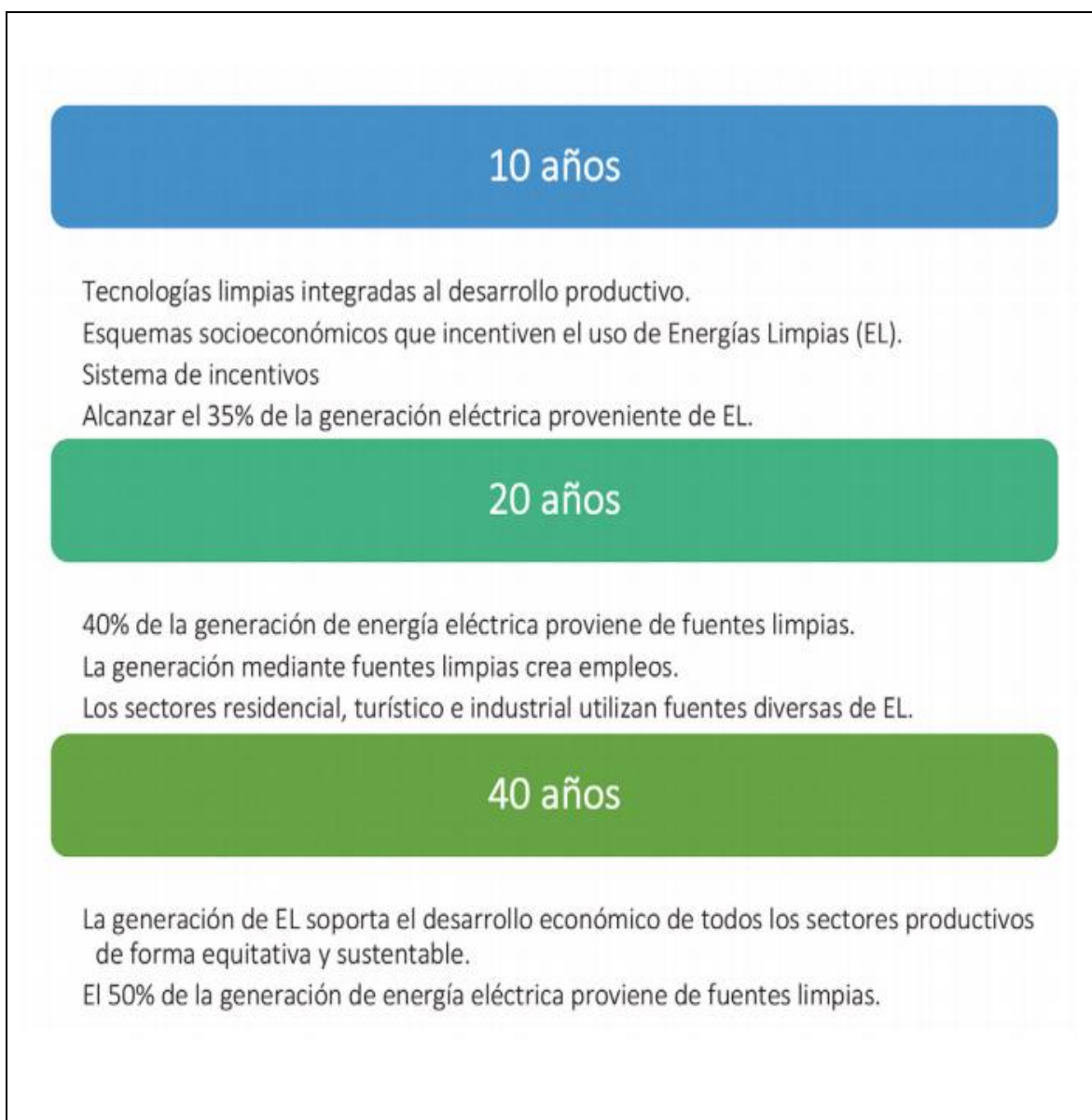


Figura 37. Principales hitos en materia energética para los próximos 10, 20 y 40 años.

Ley de Transición Energética (LTE) Esta ley regula el aprovechamiento sustentable de la energía, las energías limpias y reducción de contaminación en la generación de electricidad (figura No. 38).

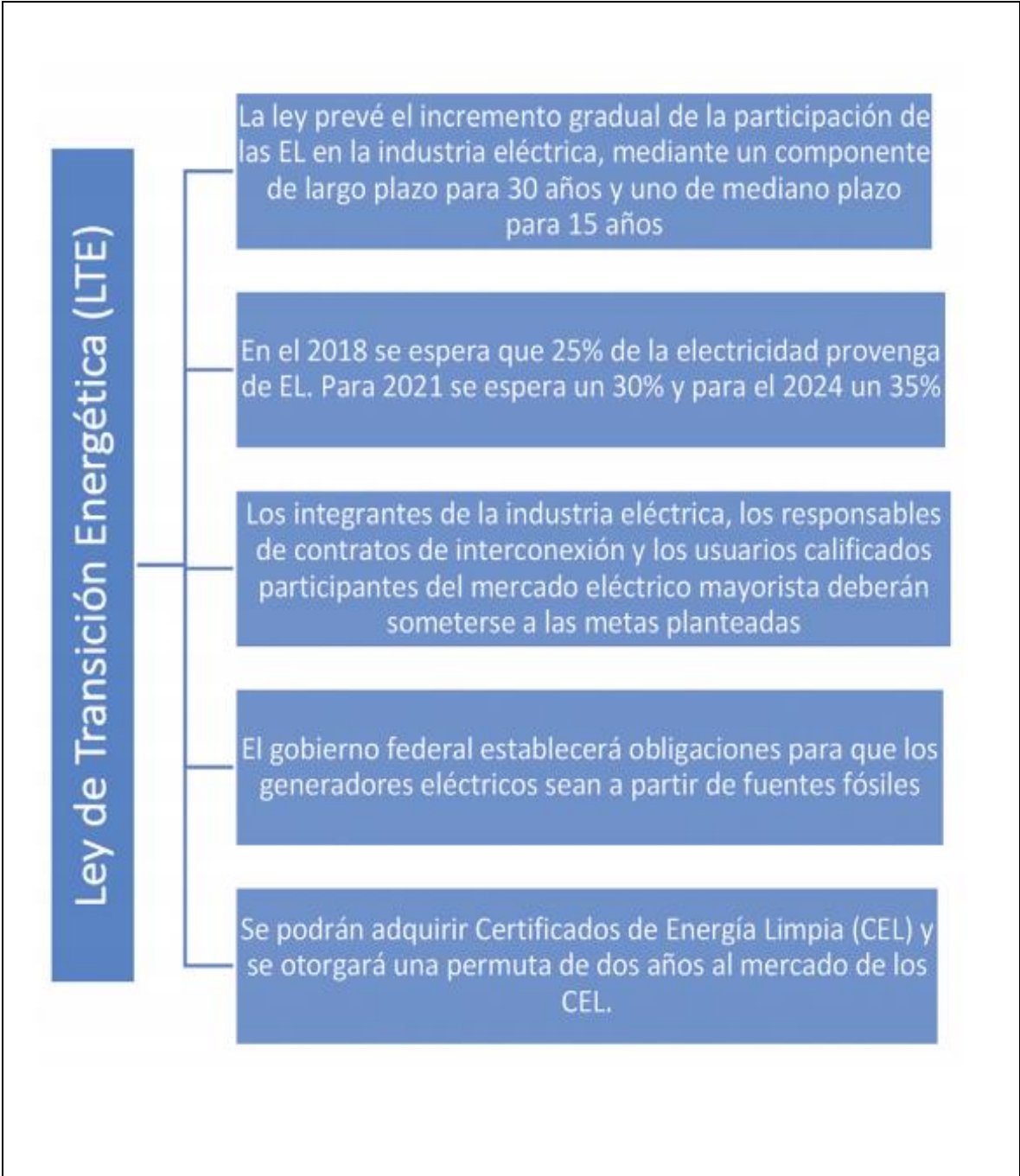


Figura 38. Principales características de la Ley de Transición Energética.

#### *2.4.1 Las Leyes particulares del Sector Electricidad.*

- LEY DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA (LIE).

La LIE tiene por finalidad promover el desarrollo sustentable de la industria eléctrica y garantizar su operación continua, eficiente y segura en beneficio de los usuarios, así como el cumplimiento de las obligaciones de servicio público y universal; así como, el impulso a las Energías Limpias y, la reducción de emisiones contaminantes. Así mismo, dispone que la Secretaría de Energía implementará mecanismos que permitan cumplir la política en materia de diversificación de fuentes de energía, seguridad energética y promoción de fuentes de Energías Limpias. Artículos 1, 3 fracción XXII, 4 fracción V, 11, fracción XI, 116, 121, Décimo Segundo, Décimo Sexto y Décimo Octavo, Transitorios. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de agosto de 2014

- LEY PARA EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES Y EL FINANCIAMIENTO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA (LAERFTE).

La LAERFTE tiene por objeto regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y el uso de tecnologías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como, establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética; promueve la suscripción de convenios y acuerdos de coordinación con los gobiernos del Distrito Federal o de los Estados, con la participación en su caso de los Municipios, con el objeto de que éstos impulsen acciones de apoyo al desarrollo industrial para el aprovechamiento de las energías renovables, faciliten el acceso a aquellas zonas con un alto potencial de fuentes de energías renovables, promuevan la compatibilidad de los usos de suelo para tales fines, y establezcan regulaciones de uso del suelo y de construcciones, que tomen en cuenta los intereses de los propietarios o poseedores de terrenos para el aprovechamiento de las energías renovables, y simplifiquen los procedimientos administrativos para la obtención de permisos y licencias para los proyectos de aprovechamiento de energías renovables.

Así mismo, promueve el apoyo del desarrollo social en la comunidad, en la que se ejecuten los proyectos de generación con energías renovables. Artículos 1°, 2, 3, 8, 11, 21, 22, 23, 24, 27, 31, y Décimo Transitorio. Últimas reformas publicadas en el DOF, el 07-06-2013.

- LEY DE PROMOCIÓN Y DESARROLLO DE LOS BIOENERGÉTICOS (LPDB).

La LPDB tiene por objeto la promoción y desarrollo de los bioenergéticos con el fin de coadyuvar a la diversificación energética y el desarrollo sustentable, procurando la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera y gases de efecto invernadero.

La LPDB promueve: la producción de insumos para bioenergéticos, a partir de las actividades agropecuarias, forestales, algas, procesos biotecnológicos y enzimáticos del campo mexicano; el desarrollo de la producción, comercialización y uso eficiente de los Bioenergéticos para contribuir a la reactivación del sector rural, la generación de empleo y una mejor calidad de vida para la población, en particular las de alta y muy alta marginalidad; el desarrollo regional y el de las comunidades rurales menos favorecidas; así como, la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera y gases de efecto invernadero, utilizando para ello los instrumentos internacionales contenidos en los Tratados en que México sea parte. Además, establece la coordinación de acciones entre los Gobiernos Federal, Estatales, Distrito Federal y Municipales, así como la concurrencia con los sectores social y privado, para el desarrollo de los Bioenergéticos. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1º de febrero de 2008.



## CAMPO DE APLICACIÓN NORMATIVO PARA adquisición y pruebas de las turbinas hidráulicas tipo Pelton de eje vertical (figura No. 39).

<b>NORMAS QUE APLICAN</b>	
<b>NOM-008-SCFI-2002</b>	Sistema General de Unidades de Medida.
<b>NOM-011-STPS-2001</b>	Condiciones de Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo donde se Genere Ruido.
<b>NOM-081-SEMARNAT-1994</b>	Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Emisión de Ruido de las Fuentes Fijas y su Método de Medición.
<b>NMX-J-075/1-ANCE-1994</b>	Aparatos Eléctricos – Máquinas Rotatorias – Parte 1: Motores de Inducción de Corriente Alterna del Tipo de Rotor en Cortocircuito en Potencias desde 0,062 a 373 kW – Especificaciones.
<b>NMX-J-075/3-ANCE-1994</b>	Aparatos Eléctricos – Máquinas Rotatorias Parte 3: Métodos de Prueba para Motores de Inducción de Corriente Alterna del Tipo de Rotor en Cortocircuito, en Potencias desde 0,062 kW.
<b>NMX-J-235/1-ANCE-2008</b>	Envolventes – Envolventes para Uso en Equipo Eléctrico - Parte 1: Consideraciones no Ambientales - Especificaciones y Métodos de Prueba.
<b>NMX-J-235/2-ANCE-2000</b>	Envolventes - Envolventes (Gabinetes) para Uso en Equipo Eléctrico - Parte 2: Requerimientos Específicos - Especificaciones y Métodos de Prueba.
<b>NMX-E-242/1-ANCE-CNCP -2005</b>	Industria del Plástico - Tubos de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) para Instalaciones Eléctricas Subterráneas (Conduit) - Especificaciones y Métodos de Prueba - Parte 1: Pared corrugada.
<b>NMX-E-242/2-ANCE-CNCP -2005</b>	Industria del Plástico - Tubos de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) para Instalaciones Eléctricas Subterráneas (Conduit) - Especificaciones y Métodos de Prueba - Parte 2: Pared lisa.
<b>NMX-J-300-ANCE-2004</b>	Conductores - Cables Control con Aislamiento Termoplástico o Termofijo, para Tensiones de 600 V y 1 000 V y Temperaturas de Operación Máximas en el Conductor de 75 °C y 90 °C - Especificaciones.
<b>NMX-J-438-ANCE-2003</b>	Conductores – Cables con Aislamiento de Policloruro de Vinilo, 75 °C y 90 °C para Alambrado de Tableros - Especificaciones.
<b>NMX-J-492-ANCE-2003</b>	Conductores - Cables Monoconductores de Energía para Baja Tensión, no Propagadores de Incendio, de Baja Emisión de Humos y sin Contenido de Halógenos 600V 90 °C- Especificaciones.
<b>NMX-J-502/1-ANCE-2005</b>	Sistemas de Control de Centrales Generadoras - Parte 1: Guía para Especificar Sistemas de Control de Turbinas Hidráulicas.
<b>NMX-J-502/2-ANCE-2006</b>	Sistemas de Control de Centrales Generadoras - Parte 2: Métodos de Prueba para los Sistemas de Control de Turbinas Hidráulicas.
<b>NMX-J-534-ANCE-2008</b>	Tubos Metálicos Rígidos de Acero Tipo Pesado y sus Accesorios para la Protección de Conductores - Especificaciones y Métodos de Prueba.
<b>NMX-J-536-ANCE-2008</b>	Tubos Metálicos Rígidos de Acero Tipo Ligero y sus Accesorios para la Protección de Conductores Eléctricos - Especificaciones y Métodos de Prueba.
<b>NMX-J-529-ANCE-2006</b>	Grados de Protección Proporcionados por los Envolventes (Código IP).
<b>IEC 60041-1991</b>	Field Acceptance Tests to Determine the Hydraulic Performance of Hydraulic Turbines, Storage Pumps and Pump-Turbines.
<b>IEC 60193-1999</b>	Hydraulic Turbines, Storage Pumps and Pump – Turbines – Model Acceptance Tests.
<b>IEC 60545-1976</b>	Guide for Commissioning, Operation and Maintenance of Hydraulic Turbines.

<b>ISO I0816-1-1995</b>	Mechanical Vibration - Evaluation of Machine Vibration by Measurements on non-rotating parts- Part 1: General guidelines.
<b>ISO 10816-5-2000</b>	Mechanical Vibration – Evaluation of Machine Vibration by Measurements on non-Rotating Parts. Part 5: Machine Sets in Hydraulic Power Generating and Pumping Plants.
<b>NRF-001-CFE-2007</b>	Empaque, Embalaje, Embarque, Transporte, Descarga, Recepción y Almacenamiento de Bienes Muebles Adquiridos por CFE.
<b>NRF-002-CFE-2009</b>	Manuales, Procedimientos e Instructivos Técnicos.
<b>NRF-010-CFE-2001</b>	Transportación Especializada de Carga.
<b>NRF-040-CFE-2007</b>	Sistema de Medición de Niveles de Embalse y Desfogue en Centrales Hidroeléctricas.
<b>CFE 017PH-12-2006</b>	Equipo para el Sistema de Agua de Enfriamiento para Centrales Hidroeléctricas.
<b>CFE D8500-01-2009</b>	Selección y Aplicación de Recubrimientos Anticorrosivos.
<b>CFE D8500-02-2009</b>	Recubrimientos Anticorrosivos.
<b>CFE D8500-22-2007</b>	Recubrimientos Anticorrosivos y Pinturas para Centrales Hidroeléctricas.
<b>CFE DY700-08-1999</b>	Soldadura y sus Aspectos Generales.
<b>CFE DY700-16-2000</b>	Soldadura y sus Aplicaciones.
<b>CFE GA4L0-54-2008</b>	Regulador de Velocidad Electrohidráulico con Control Digital Programable para Turbinas de Centrales Hidroeléctricas.
<b>CFE L0000-12-1986</b>	Tensiones de Corriente Alterna Empleadas en Centrales Generadoras.
<b>CFE L0000-15-1992</b>	Código de colores.

<b>CFE DY700-16-2000</b>	Soldadura y sus Aplicaciones.
<b>CFE GA4L0-54-2008</b>	Regulador de Velocidad Electrohidráulico con Control Digital Programable para Turbinas de Centrales Hidroeléctricas.
<b>CFE L0000-12-1986</b>	Tensiones de Corriente Alterna Empleadas en Centrales Generadoras.
<b>CFE L0000-15-1992</b>	Código de colores.
<b>CFE L0000-36-2005</b>	Condiciones Económicas en la Supervisión del Montaje, Pruebas y Puesta en Servicio.
<b>CFE V6300-21-2006</b>	Centros de Control de Motores de Baja Tensión de Corriente Alterna.
<b>CFE W4200-12-1999</b>	Generadores para Centrales Hidroeléctricas.
<b>CFE W4600-19-2007</b>	Sistema para que Unidades Hidroeléctricas Operen como Condensador Síncrono.

Figura 39. Campo de aplicación normativo para adquisición y pruebas de las turbinas hidráulicas tipo Pelton  
<https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/d/W8300-22.pdf>

**CAMPO DE APLICACIÓN NORMATIVO PARA adquisición y pruebas de las turbinas hidráulicas tipo Francis de eje vertical (figura No. 40).**

<b>NORMAS QUE APLICAN</b>	
<b>NOM-008-SCFI-2002</b>	Sistema General de Unidades de Medida.
<b>NOM-011-STPS-2001</b>	Condiciones de Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo donde se Genere Ruido.
<b>NOM-081-SEMARNANT-1994</b>	Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Emisión de Ruidos de las Fuentes Fijas y su Método de Medición.
<b>IEC 60041-1991</b>	Field Acceptance Tests to Determine the Hydraulic Performance of Hydraulic Turbines, Storage Pumps and Pump – Turbines.
<b>IEC 60193-1999</b>	Hydraulic Turbines, Storage Pumps and Pump – Turbines – Model Acceptance Tests.
<b>IEC 60609-1-2004</b>	Hydraulic Turbines, Storage Pumps and Pump – Turbines – Cavitation Pitting Evaluation. Part 1: Evaluation in Reaction Turbines, Storage Pumps and Pump-Turbines.
<b>ISO 1999-1990</b>	Acoustics Determination of Occupational Noise - Exposure and Estimation of Noise Induced Hearing Impairment.
<b>ISO 7919-1-1996</b>	Mechanical Vibration of Non - Reciprocating Machines – Measurements on Rotating Shafts and Evaluation Criteria – Part 1: General Guidelines.
<b>ISO 7919-5-2005</b>	Mechanical Vibration – Evaluation of Machine Vibration by Measurements on Rotating Shafts – Part 5: Machine Sets in Hydraulic Power Generating and Pumping Plants.
<b>ISO 10816-1-1995</b>	Mechanical Vibration – Evaluation of Machine Vibration
<b>ISO 10816-5-2000</b>	Mechanical Vibration – Evaluation of Machine Vibration by Measurements on Non – Rotating Parts – Part 5: Machine Sets in Hydraulic Power Generating and Pumping Plants.
<b>NRF-001-CFE-2000</b>	Empaque, Embalaje, Embarque, Transporte, Descarga, Recepción y Almacenamiento de Bienes Muebles Adquiridos por CFE.
<b>NRF-002-CFE-2000</b>	Manuales Técnicos.
<b>NRF-010-CFE-2001</b>	Transportación Especializada de Carga.
<b>CFE L0000-36-2005</b>	Consideraciones Económicas en la Supervisión de Montaje, Pruebas y Puesta en Servicio.
<b>CFE W8300-11-2007</b>	Turbina Hidráulica Tipo Francis de eje Vertical.

Figura 40. Campo de aplicación normativo para adquisición y pruebas de las turbinas hidráulicas tipo Francis <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/u/W8300-11.pdf>



**CAMPO DE APLICACIÓN NORMATIVO PARA adquisición y pruebas de las turbinas hidráulicas tipo Kaplan de eje vertical (figura No. 41).**

<b>NORMAS QUE APLICAN</b>	
<b>NOM-001-SEDE-2005</b>	Instalaciones Eléctricas (Utilización).
<b>NOM-008-SCFI-2002</b>	Sistema General de Unidades de Medida
<b>NOM-011-STPS-2001</b>	Condiciones de Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo donde se Genera Ruido.
<b>NOM-020-STPS-2011</b>	Recipientes Sujetos a Presión, Recipientes Criogénicos y Generadores de Vapor o Calderas - Funcionamiento - Condiciones de Seguridad.
<b>NOM-081-SEMARNAT-1994</b>	Establece los Límites Máximos Permisibles de Emisión de Ruidos de las Fuentes Fijas y su Método de Medición.
<b>NMX-E-242/1-ANCE-CNCP-2005</b>	Industria del Plástico.- Tubo de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) para Instalaciones Eléctricas Subterráneas (conduit) - Especificaciones y Métodos de Prueba - Parte 1: Pared Corrugada.
<b>NMX-E-242/2-ANCE-CNCP-2005</b>	Industria del Plástico - Tubo de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) para Instalaciones Eléctricas Subterráneas (conduit) - Especificaciones y Métodos de Prueba - Parte 2: Pared Sólida.
<b>NMX-J-075/1-ANCE-1994</b>	Aparatos Eléctricos - Máquinas Rotatorias - Parte 1: Motores de Inducción de Corriente Alterna del Tipo Rotor en Cortocircuito en Potencias de 0.062 kW a 373 kW. Especificaciones.
<b>NMX-J-235/1-ANCE-2008</b>	Envolventes - Envolventes (gabinetes) para Uso en Equipo Eléctrico - Parte 1: Requerimientos Generales - Especificaciones y Métodos de Prueba.
<b>NMX-J-235/2-ANCE-2000</b>	Envolventes - Envolventes (Gabinetes) para Uso en Equipo Eléctrico - Parte 2: Requerimientos Específicos Especificaciones y Métodos de Prueba.
<b>NMX-J-438-ANCE-2003</b>	Conductores - Cables con Aislamientos de Policloruro de Vinilo, 75 °C y 90 °C para Alambrado de Tableros. Especificaciones.
<b>NMX-J-534-ANCE-2008</b>	Tubos Metálicos Rígidos de Acero Tipo Pesado y sus Accesorios para la Protección de Conductores Eléctricos - Especificaciones y Métodos de Prueba.

<b>NMX-J-536-ANCE-2005</b>	Tubos Metálicos Rígidos de Acero Tipo Ligero y sus Accesorios para la Protección de Conductores Eléctricos - Especificaciones y Métodos de Prueba.
<b>IEC 60041-1991</b>	Field Acceptance Tests to Determine the Hydraulic Performance of Hydraulic Turbines, Storage Pumps and Pump - Turbines.
<b>IEC 60193-1999</b>	International Code for Model Acceptance Test of Hydraulic Turbines.
<b>IEC 60545-1976</b>	Guide for Commissioning, Operation and Maintenance of Hydraulic Turbines.
<b>IEC 60609-1-2004</b>	Hydraulic Turbines, Storage Pumps and Pump - Turbines - Cavitation Pitting Evaluation - Part 1: Evaluation in Reaction Turbines, Storage Pumps and Pump – Turbines.
<b>ISO 1940-1-2003</b>	Mechanical Vibration -- Balance Quality Requirements for Rotors in a Constant (rigid) State -- Part 1: Specification and Verification of Balance Tolerances.
<b>ISO 1999-2013</b>	Acoustics -- Estimation of Noise-Induced Hearing.
<b>ISO 3448-1992</b>	Industrial Liquid Lubricants- ISO Viscosity classification.
<b>ISO 4386-1-2012</b>	Plain Bearings - Metallic Multilayer Plain Bearings - Part 1: Non - Destructive Ultrasonic Testing of Bond of Thickness Greater Than or Equal to 0.5 mm.
<b>ISO 4386-3-1992</b>	Plain Bearings - Metallic Multilayer Plain Bearings - Part 3: Non - Destructive Penetrant Testing.
<b>ISO 7919-1-1996</b>	Mechanical Vibration of Non-Reciprocating Machines - Measurements of Rotating Shafts and Evaluation Criteria Part 1: General Guidelines.
<b>ISO 7919-5-2005</b>	Mechanical Vibration -- Evaluation of Machine Vibration by Measurements on Rotating Shafts -- Part 5: Machine Sets in Hydraulic Power Generating and Pumping Plants.

Figura 41. Campo de aplicación normativo para adquisición y pruebas de las turbinas hidráulicas tipo Kaplan  
<https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/o/W8300-28.pdf>

**CAPÍTULO III.**  
**PROPUESTA DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD.**

### 3.1 CARACTERÍSTICAS DEL ARROYO

Las características principales del arroyo Aguadulcita son los siguientes (tabla 10):

Característica	Cantidad	Unidad
Área cuenca	89.70	Km <sup>2</sup>
Ancho máx. cuenca	9.30	Km
Long. cuenca	16.05	Km
Orden de corriente principal	4	
Orden de la cuenca	4	
Densidad de corriente	0.75	
Densidad de drenaje	1.45	Km/Km <sup>2</sup>
Pendiente media del cauce	0.002	
Tiempo de concentración	8	Hrs
Gasto	0.50 a 181	m <sup>3</sup> /s
Velocidad del río	0.57 a 1.80	m/s
Gravedad	9.81	m/s <sup>2</sup>
Densidad del agua	1,000	Kg/m <sup>3</sup>
Presión atmosférica	101,200	Pa
Profundidad	Mínima de 1.0	M

Tabla 10. Características del arroyo Aguadulcita.

### 3.2 SELECCIÓN DE LA TURBINA PARA EL PROYECTO PROPUESTO.

Para la selección de la turbina se toman como base los siguientes parámetros de operación de la turbina

Carga de diseño de la turbina  $H_d = 0,500 \text{ m}$

Gasto de diseño de la turbina  $Q_d = 0,50 \text{ a } 2.00 \text{ m}^3/\text{s}$

Una vez determinada la altura neta y el caudal de diseño, se determina la turbina que se utilizara de modo de aprovechar de la mejor manera el recurso hídrico. El criterio para la selección de la turbina es el siguiente.

### Criterio por diagrama con rangos de aplicación.

Este criterio permite determinar que turbina se puede utilizar a partir del salto neto y del caudal de diseño. Se presenta en la figura No. 42 los rangos de aplicación de las diferentes turbinas. Recordar que el salto neto es de 0.05 metros, mientras que el caudal de diseño es entre 0.50 a 2.00 m<sup>3</sup>/s.

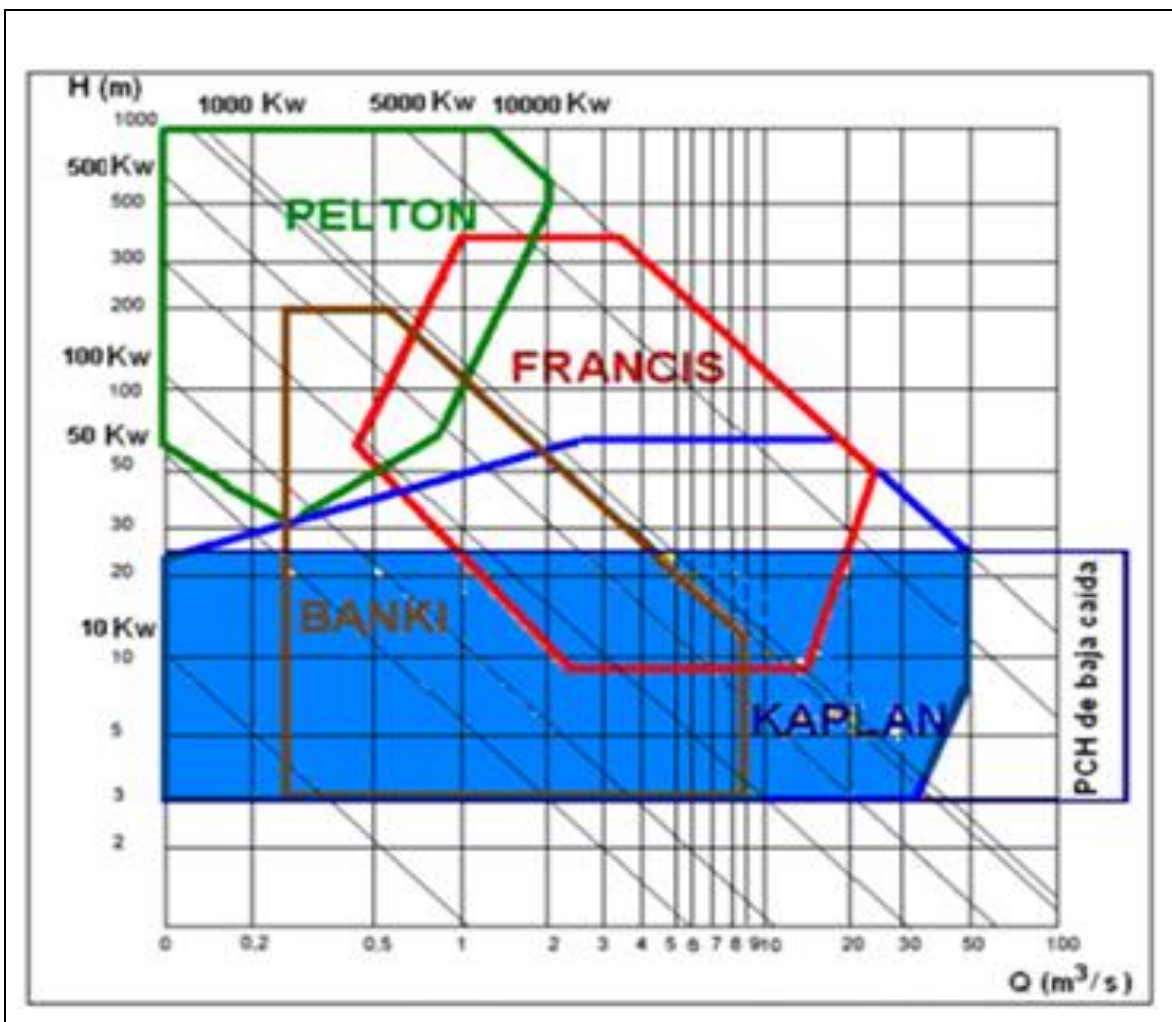


Figura 42. Selección del tipo de turbina en función del gasto y la carga de diseño Qd y Hd.

A partir de la figura No. 42, se determina que la turbina a utilizar dado el recurso hídrico puede ser la turbina Kaplan o bien la turbina Michell-Banki (Ossberger). Para el caso del proyecto en estudio, se optó por la turbina Kaplan, debido a su elevado rendimiento y menor costo comparado con la turbina Ossberger.

### 3.3 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.

La ubicación de la generadora de electricidad se encontraría a un costado del arroyo sobre una estructura de concreto o metálico donde se encuentra la turbina Kaplan. La estructura será un canal con una terminación en forma de voluta para darle el sentido a la corriente (giro) y de esta manera facilite el impulso de la turbina. La turbina se encontrará en la parte central de la voluta, y posteriormente se tendrá un tubo de cola que tendrá una terminación para el drenaje del agua que retornará al arrollo Agua Dulce. (figura No. 43).

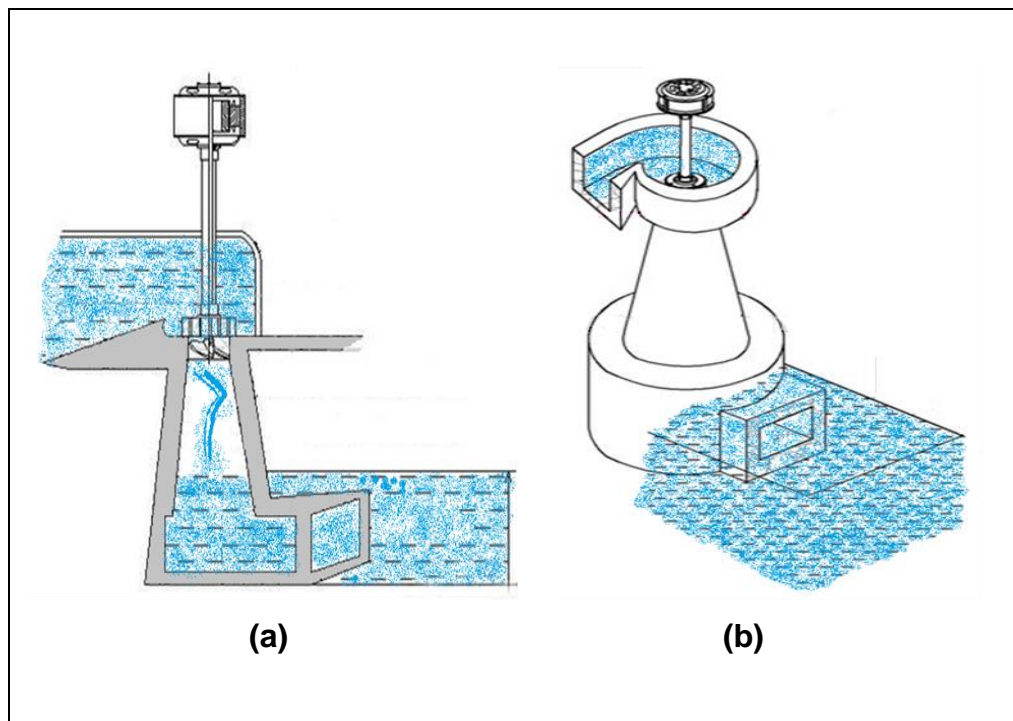


Figura 43. Estructura e instalación de la turbina Kaplan, (a) Figura corte transversal y (b) Figura isométrica.

En la figura No. 44, se puede observar una estructura real de concreto con una turbina Kaplan instalada y el motor generador eléctrico.





*Figura 44. Ejemplo de la estructura e instalación de la turbina Kaplan.*

### **3.4 DIAGRAMA DE BLOQUES.**

En el Diagrama 1; se presenta un diagrama de bloques, que muestran las fases del proceso de generación eléctrica, desde el suministro de agua del arrollo agua Dulce hasta la obtención de la electricidad.

Se observa que el primer punto de las fases es el suministro de agua, que tendrá un control de entrada (Control de flujo), el cual se conducirá por el canal de recepción hasta llegar a la voluta donde se le proporcionará el giro al flujo para hacerlo pasar por la turbina que generará una rotación a la flecha del generador eléctrico que enviará la carga a un regulador de carga para recibirlo en el acumulador, la carga almacenada en el acumulador es CC, se envía a un inversor de CC/CA para recibir la energía eléctrica en el hogar en forma de corriente CA.

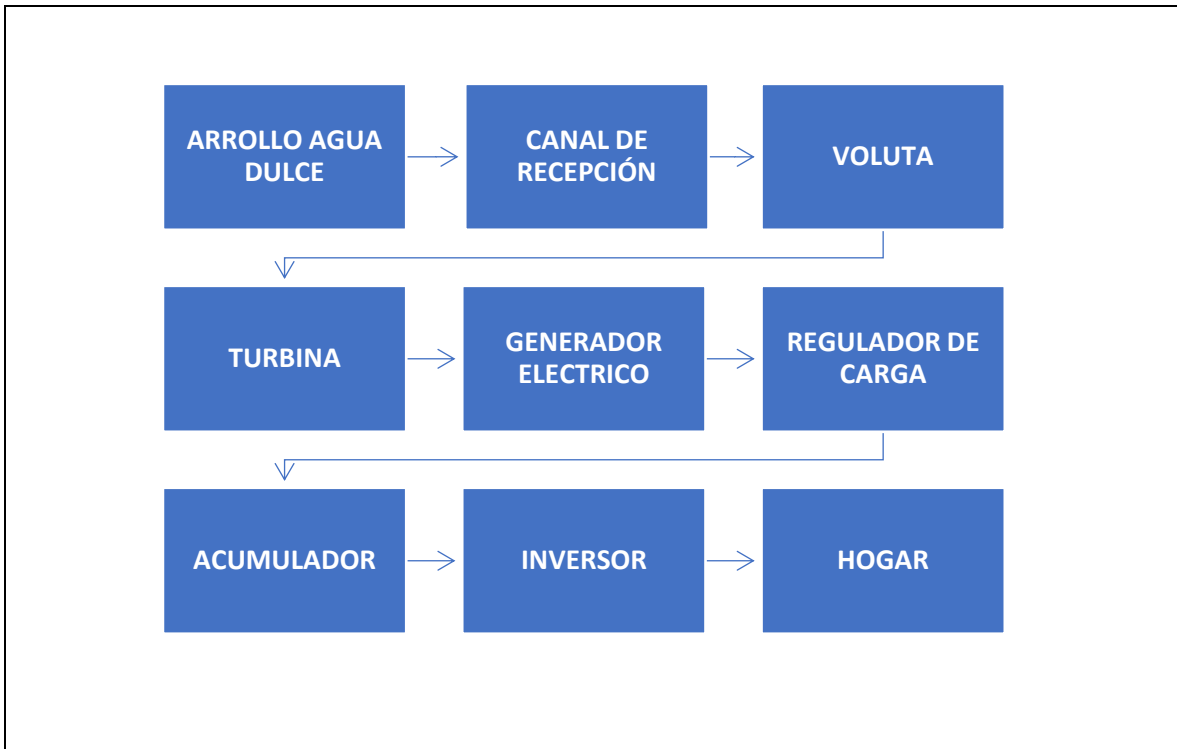
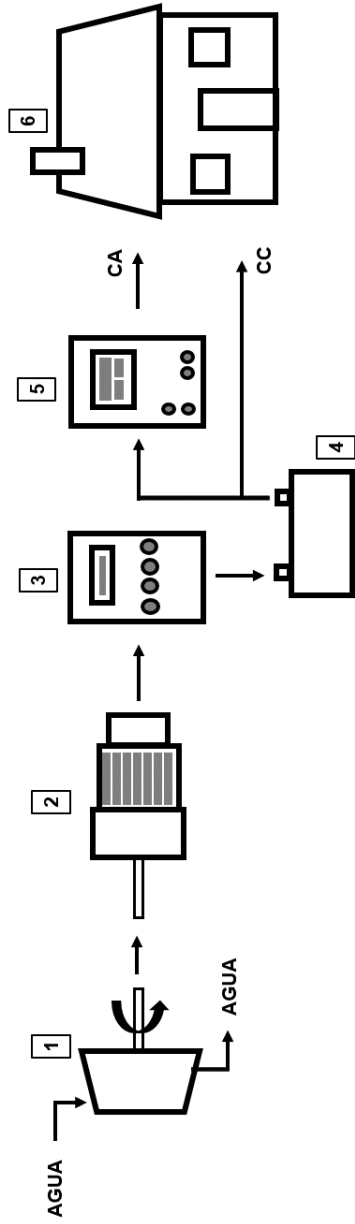


Diagrama 1. Proceso generación de electricidad.

### 3.5 DIAGRAMA DEL PROCESO.

Se muestra el proceso de la obtención de la electricidad en un Diagrama de proceso, que modela las partes consecuentes de los equipos paso a paso.





No.	EQUIPOS
1	TURBINA
2	GENERADOR ELECTRICO.
3	REGULADOR DE CARGA
4	ACUMULADOR
5	INVERSOR CC/CA
6	HOGAR

DIAGRAMA 2 DIAGRAMA DEL PROCESO GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

### 3.6 EQUIPOS REQUERIDOS.


A continuación se mencionaran los equipos y maquinaria que se requieren, que deberán ocuparse para la generación de la electricidad por medio de una turbina Kaplan.

#### TURBINA KAPLAN Y GENERADOR ELECTRICO.

La turbina Kaplan (figura No. 45) es un dispositivo de eje vertical, tiene las ventajas de una estructura simple, conveniente reparar equipo a bajo precio, fácil de realizar la transmisión directa. A partir de saltos pequeños de agua de 0.5 a 6 m y un caudal de 25 a 100 l/s, se puede obtener entre 10000 W y 40000 W (240,000 - 960,000 Wh/día) de potencia.

Turbina Kaplan es adecuado para el desarrollo de bajo el agua de la cabeza (de 0.50 a 6 m). Mayor flujo de recursos hídricos.

Generador de imán permanente con rotor, simple estructura duradera, confiable y libre de mantenimiento, sin excitación automática, sin cepillos de carbono, sin anillos y no necesita equipo de caja, Diseño de múltiples polos mejorando la frecuencia y eficiencia de los rectificadores e inversores.

	Especificación	
	Potencia nominal (kW)	12.6 a 24.7
	Altura nominal (m)	0.5 a 4.2
	Caudal nominal (l/s)	25 a 100
	Energía del generador (kW)	2 a 15
	Voltaje nominal Generador (V)	400
	Vel. Nominal del rotor (RPM)	700 a 1000

Precio Turbina Kaplan y Generador eléctrico:

1,280 US\$ (\$ 25,356.80)

Figura 45. Turbina Kaplan y Generador eléctrico.

## **REGULADOR DE CARGA.**

El regulador de carga (figura No. 46) se instala entre la turbina y el banco de baterías. Es una mejora respecto a la conexión directa. Este dispositivo protege a la batería mediante la regulación de la corriente alimentada en ella, a fin de limitar el aumento de la tensión de la batería a un límite máximo particular. Esta regulación se realiza automáticamente según el tipo de batería, de la temperatura y de su estado de carga, cosa que no sucede con la conexión directa a batería.

Se recomienda la conexión a través de los dispositivos de seguimiento del punto de máxima potencia (por sus siglas en inglés MPPT) y tienen varias ventajas:

- MPPT ajusta el voltaje de forma automática para la salida máxima en vatios. Esto tiene dos ventajas: se tiende a obtener más potencia, y no será necesario retocar manualmente la turbina para optimizarla. Como mucho ajustar la llave de paso para ajustar el flujo al agua disponible al inicio de la puesta en marcha.
- Permite trabajar en tensión superior y evita secciones elevadas de cableado.
- En general, a prueba de fallos - en el caso de la generación de fallo del controlador, se detiene por lo que las baterías estarán protegidas.
- El controlador mostrará datos de producción (según la versión).
- Ajuste preciso de los ciclos de carga/descarga de la batería. Y esto a menudo es necesario para la durabilidad de las baterías.

El controlador MPPT cambia el voltaje para adaptarse a su banco de baterías 12/24/48 V DC.



Figura 46. Regulador de carga.

## ACUMULADOR.

En electricidad y electrónica, un acumulador o batería de acumuladores (figura No. 47) es un dispositivo que almacena energía por procedimientos electroquímicos y de la que se puede disponer en forma de electricidad .

Es necesario distinguir entre baterías recargables o acumuladores y baterías desechables o pilas La diferencia entre ambos tipos está en que las baterías recargables permiten revertir la reacción química que se ha producido durante la descarga mediante la aplicación en sus electrodos de una corriente eléctrica de procedente de un generador externo.

En el caso de las pilas esta reversión no es posible por lo que una vez descargadas han de ser desechadas. Los acumuladores se basan en la fuerza electromotriz (F.E.M.) de polarización que se crea durante un proceso de electrolisis y que se opone a la F.E.M. aplicada para llevar a cabo esa electrolisis. Aunque existen muy diversos tipos, en general un acumulador consta de dos electrodos, generalmente de distinto material, sumergidos en un electrolito.

Puesto que son generadores de energía, las baterías tienen dos parámetros fundamentales a tener en cuenta: el voltaje y la capacidad utilizable. El voltaje depende del electrolito y de los electrodos utilizados, generalmente estará comprendida entre 1,2 y 2 voltios.

La capacidad utilizable, medida en amperios-hora (3600 culombios, indican la cantidad de electricidad que puede producir en la descarga.

A modo de ejemplo, 1 Ah indica que es posible obtener una intensidad de un amperio durante una hora (o dos amperios durante media hora) antes de que se agote la batería. Esta relación no es lineal, pues una corriente más elevada hace que se acorte la vida de la batería, mientras que una corriente más suave puede alargar la duración de la misma.



Especificación		
Voltaje nominal	(V)	12
Capacidad del acumulador	(Ah)	200
Peso	(Kgs)	65.3
Medidas (Fo x An x Al)	(cm)	52.2x24x22.4
Terminales		T11

Precio Acumulador:  
\$ 16,990


Figura 47. Acumulador.

### INVERSOR CC/CA.

Un inversor (figura No. 48) es un dispositivo que cambia o transforma una tensión de entrada de corriente continua a una tensión simétrica de salida (senoidal, cuadrada o triangular) de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador.

Su función es cambiar el voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje de salida de corriente alterna. Es decir, transforma los 12v o 24v de la corriente de una batería (corriente continua) a 110 o 220v (corriente alterna) como la que

tenemos en una vivienda y en el cual funcionan la mayoría de los dispositivos de uso común.



<b>Especificación</b>		
Rango voltaje MPPT	(vcd)	90 - 580
Corriente máx. entrada	(A)	12.5
Potencia nominal entrada	(W)	3300
Potencia nominal salida	(W)	3000
Voltaje nominal salida	(V)	110 - 220
Medidas (Fo x An x Al)	(cm)	12.5x28.5x36.8
Frecuencia nominal	(Hz)	60

Precio Inversor:  
\$ 16,276

Figura 48. Inversor CC/CA.

**CAPÍTULO IV**  
**COSTOS Y BENEFICIOS.**

## 4.1 COSTOS DE INVERSIÓN.

En la tabla 11; se muestran los costos de los equipos propuestos.

Unidad	Descripción	P. U.	Costo Total
1	Turbina y generador electrico	\$25,356.80	\$25,356.80
1	Regulador de carga	\$7,170.55	\$7,170.55
1	Acumulador	\$16,990.00	\$16,990.00
1	Inversor CC/CA	\$16,276.00	\$16,276.00
<b>Total:</b>			<b>\$65,793.35</b>

Tabla 11. Costo de equipo. Fuente: Elaboración propia

El costo anual de mantenimiento se estima el 25 % del costo de equipos más la instalación (obra civil). En la tabla 12; se muestran los costo total de la inversión (contemplando el costo de la obra civil y mantenimiento).

Descripción	Costo
Obra civil	\$ 10,000.00
Equipos requeridos	\$ 65,793.35
Mantenimiento de los equipo.	\$ 18,948.33
<b>Total:</b>	<b>\$ 94,741.68</b>

Tabla 12. Costo total de inversión. Fuente: Elaboración propia.

### Consumo promedio de electricidad en una casa de interés social.

Como base se toma a considerando una casa de interés social consta de un terreno de 90 m<sup>2</sup>, y de construcción con 2 recamaras, baño, cocina, sala-comedor, patio de servicio y cochera, (figura No. 49).





Figura 49. Plano de una casa de interés social. Fuente: Panorama sociodemográfico de Zacatecas, 2011.

Se estima que una vivienda contiene los siguientes aparatos electrodomésticos y su consumo de potencia total (kW/día) como se describe en la siguiente tabla 13:

Artículo	Cantidad	Consumo W/h	Tiempo de uso al día (hr)	Tiempo de uso al mes (hrs)	Consumo W/día	Consumo mensual kW/mes
Focos ahorradores (15W c/u)	8	120	5 hr/día	150	600	18
TV Color(32-43pulg)	1	250	6 hr/día	180	1500	45
Celular (5 W c/u)	2	10	2 hr/día	60	20	0.6
DVD	1	25	3 hr 4vec/sem	48	40	1.2
Estéreo	1	75	4 hr/día	120	300	9
Computadora	1	300	5 hr/día	150	1500	45
Licuada	1	400	10 min/día	5	66.67	2
Refrigerador (25-27 pies cúbicos)	1	650	8 hr/día	240	5200	156
Lavadora	1	400	4hr 2vec/sem	32	424	12.8
Plancha	1	1200	3hr 2vec/sem	24	960	28.8
Ventilador de piso (125 c/u)	2	250	8 hr/día	240	2000	60
<b>Consumo total</b>					<b>12610.67</b>	<b>378.4</b>

Tabla 13. Consumo promedio de electricidad en casas de interés social. Fuente: Elaboración propia.

### Costo del consumo promedio de electricidad en una casa de interés social.

De acuerdo a la tabla 14, el consumo mensual promedio de electricidad en una casa de interés social es de 378.4 kW/mes, por consiguiente, en el bimestre sería el doble, 756.8 kW.

Con la tarifa DAC de la Comisión Federal de electricidad (CFE), El límite de alto consumo se define para cada localidad en función de la tarifa en la que se encuentre clasificada:

Tarifa 1:	250 (doscientos cincuenta)	kWh/mes.
Tarifa 1A:	300 (trescientos)	kWh/mes.
Tarifa 1B:	400 (cuatrocientos)	kWh/mes.
Tarifa 1C:	850 (ochocientos cincuenta)	kWh/mes.
Tarifa 1D:	1,000 (un mil)	kWh/mes.
Tarifa 1E:	2,000 (dos mil)	kWh/mes.
Tarifa 1F:	2,500 (dos mil quinientos)	kWh/mes.

Tabla 14. Tarifa DAC. Autor: Comisión Federal de electricidad.

La región de Agua Dulce le corresponde la tarifa 1C y las cuotas aplicables por la energía consumida en función de la temporada del año:

➤ Temporada de verano:

Consumo básico	\$ 0.771	por cada uno de los primeros 150 kW/h.
Consumo intermedio bajo	\$ 0.896	por cada uno de los siguientes 150 kW/h.
Consumo intermedio alto	\$ 1.155	por cada uno de los siguientes 150 kW/h.
Consumo excedente	\$ 3.074	por cada kW/h adicional a los anteriores.

➤ Temporada fuera de verano:

Consumo básico	\$ 0.877	por cada uno de los primeros 75 kW/h.
Consumo intermedio	\$ 1.067	por cada uno de los siguientes 100 kW/h.
Consumo excedente	\$ 3.115	por cada kW/h adicional a los anteriores.

El costo de la electricidad consumida durante el bimestre de la casa de interés social, que serían los 756.8 kW, considerando ambas temporadas se tendría los siguientes costos:

<b>Temporada de verano</b>			<b>Temporada fuera de verano</b>		
Consumo	Precio	Subtotal	Consumo	Precio	Subtotal
150 kW	* \$0.771	= \$ 115.65	75 kW	* \$ 0.877	= \$ 65.77
150 kW	* \$0.896	= \$ 134.40	100 kW	* \$ 1.067	= \$ 106.70
150 kW	* \$1.155	= \$ 173.25	581.8 kW	* \$ 3.115	= \$ 1812.30
306.8 kW	* \$3.074	= \$ 943.10	Subtotal		= \$ 1984.77
Subtotal		= \$ 1366.40	IVA 16%		= \$ 317.56
IVA 16%		= \$ 218.62	<b>Total</b>		<b>= \$ 2302.33</b>
<b>Total</b>		<b>= \$ 1585.02</b>			

La temporada de verano es el periodo que comprende los seis meses consecutivos más cálidos del año, los cuales serán fijados por el suministrador, definido en la Ley de la Industria Eléctrica, de acuerdo con las citadas observaciones termométricas que expida la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Por tal motivo se considerarán tres bimestres de temporada de verano consumiendo 756.8 kW de electricidad con un costo de \$ 1585.02 y tres bimestres de temporada fuera de verano consumiendo 756.8 kW de electricidad con un costo de \$ 2302.33

En la tabla 15 se puede observar el costo anual del consumo promedio de electricidad en una casa de interés social.

Bimestre	Consumo (kW)	Costo por consumo (\$)	Costo total (\$/año)
Enero - Febrero	756.8	2302.33	
Marzo - Abril	756.8	1585.02	
Mayo - Junio	756.8	1585.02	
Julio - Agosto	756.8	1585.02	
Septiembre - Octubre	756.8	2302.33	
Noviembre - Diciembre	756.8	2302.33	<b>11662.05</b>

Tabla 15. Costo del consumo promedio anual de electricidad en casas de interés social. Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO.

En las siguientes tablas se muestra el costo beneficio que se obtendría con la producción de energía eléctrica.

Tenemos que el generador proporciona de 2 a 15 kW/h, tomando como base la producción mínima de 2 kW/h con 8 hr de trabajo se tendrá:

$$= 16 \text{ kW/día} = 112 \text{ kW/semana} = 480 \text{ kW/mes} = 5760 \text{ kW/año}$$

El consumo promedio de una casa de interés social es de:

$$= 12.61 \text{ kW/día} = 88.27 \text{ kW/semana} = 378.4 \text{ kW/mes} = 4540.8 \text{ kW/año}$$

Al relacionar la producción de electricidad con el consumo promedio se observa que es factible con respecto a la energía eléctrica.

Ahora proyectando los costos del consumo anual que es de \$11662.05 para determinar el tiempo que se llevaría en recuperar lo invertido que es de \$94741.68, para esta proyección se considera un incremento del 3 % en el costo anual de la energía eléctrica, contemplado por la comisión federal de electricidad, quedando de la siguiente manera (tabla 16):

Proyección	Consumo (kW/año)	Costo (\$/año)	Costo Acumulado (\$/año)
1 año	4540.8	11662.05	11662.05
2 años	4540.8	12011.91	23673.96
3 años	4540.8	12372.27	36046.23
4 años	4540.8	12743.44	48789.67
5 años	4540.8	13125.74	61915.41
6 años	4540.8	13519.51	75434.92
7 años	4540.8	13925.10	89360.02
8 años	4540.8	14342.85	103702.87

Tabla 16. Proyección de Costo del consumo promedio anual de electricidad en una casa de interés social. Fuente: Elaboración propia.

Dando como resultado la proyección recuperación de lo invertido es de 7 años y 5 meses.

Para hacer este proyecto más rentable, y de acuerdo con la especificación del generador, se puede considerar incrementar la producción de 4 kW/h, de 6 kW/h y de 8 kW/h, trabajando en un 50% de su capacidad, para alimentar de energía eléctrica a 1, 2, 3 o 4 casas de interés social. Realizando esta proyección a 8 años se obtiene (tabla 17):

Proyección	Consumo (kW/año)	Costo (\$/año)	Costo Acumulado (\$/año)			
			Con 1 Casa	Con 2 Casas	Con 3 Casas	Con 4 Casas
1 años	4540.8	11662.05	11662.05	23324.10	34986.15	46648.20
2 años	4540.8	12011.91	23673.96	47347.92	71021.88	94695.85
3 años	4540.8	12372.27	36046.23	72092.46	108138.69	144184.92
4 años	4540.8	12743.44	48789.67	97579.33	146369.00	195158.67
5 años	4540.8	13125.74	61915.41	123830.81	185746.22	247661.63
6 años	4540.8	13519.51	75434.92	150869.84	226304.76	301739.68
7 años	4540.8	13925.10	89360.02	178720.03	268080.05	357440.07
8 años	4540.8	14342.85	103702.87	207405.74	311108.60	414811.47

Tabla 17. Proyección de Costo del consumo promedio anual de electricidad en 1, 2, 3 y 4 casas de interés social. Fuente: Elaboración propia.

Especificación	Opción			
	1	2	3	4
Producción (kW/h).	2	4	6	8
Casas beneficiadas	1	2	3	4
Costo de kW/año por CFE.	\$11,662.02	\$23,324.10	\$34,986.15	\$46,648.20
Tiempo para recuperar lo invertido.	7 años y 5 meses	3 años y 11 meses	2 años y 8 meses	2 años

Tabla 18. Opciones de rendimiento del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la tabla 18, nos permite visualizar más, las opciones que se tienen para elegir el más rentable, y la respuesta sería la opción 4.de la proyección para la recuperación de lo invertido es de 2 años.

Tiempo que refleja la pronta respuesta de la inversión hacia la aportación en materia de servicios a la población de Agua Dulce Veracruz, como lo redactado en los problemas de escuelas con estudiantes y maestros sin luz para realizar sus actividades, por mencionar uno de los casos, es cierto que el pueblo tiene diversas necesidades, pero se requiere empezar por un punto para apoyar a las ideas de aportación y este trabajo trae consigo una propuesta que puede llegar a ajustarse a las necesidades para despertar mayores beneficios.

La **energía hidroeléctrica** es aquella que se genera al transformar la fuerza del agua en energía eléctrica.

Con el aprovechamiento de esta fuerza, se construyen grandes infraestructuras hidráulicas capaces de extraer el máximo potencial de este recurso, como puede ocurrir en la región de estudio, aquí propuesta, por ello se mencionan los beneficios potenciales que pueden desarrollarse.

### **1.Reutilización.**

Se trata de un recurso procedente del agua de arroyo y, además, el agua empleada en el proceso puede volver a utilizarse.

## **2.Duración.**

Las instalaciones hidroeléctricas tienen una larga vida útil.

## **3.Sostenible.**

La energía hidroeléctrica ayuda a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero.

## **4.Flexibilidad.**

Los recursos hidráulicos facilitan la gestión de los picos de demanda energética al poder utilizar el agua de forma flexible.

## **6.Costes.**

Aunque suceda una inversión necesaria para la puesta en marcha de la central hidroeléctrica este desarrollo conlleva a nueva construcción, las externalidades positivas son variadas.

## **7.Respaldo.**

Su flexibilidad operativa se presenta como complemento y respaldo esencial para el desarrollo de otras tecnologías renovables de generación intermitente como la fotovoltaica y la eólica.

## **8.Unión social.**

Una hidroeléctrica además de resolver un servicio necesario, requiere de la unión esfuerzo de la sociedad, pero también generará una característica positiva en el municipio.

## **Conclusión.**

El aprovechamiento de las zonas hídricas y el potencial de sus ríos y arroyos es una gran área de oportunidad en la zona de Veracruz, el cual cuenta con recursos hídricos como queda demostrado en la investigación realizada.

Comunidades importantes como el Municipio de Agua Dulce Veracruz pueden verse beneficiadas con planes de generación de electricidad de acuerdo a las características de sus arroyos, en el cual para este caso se determinó la turbina Kaplan, se estudiaron casos, videos, imágenes en el estudio de esta propuesta para elegir la turbina más adecuada.

Si se cuenta con importantes recursos hídricos para la aplicación de esta tecnología la misma que puede satisfacer la demanda básica de energía de los pobladores rurales de la zona que difícilmente podrían contar con un servicio de energía en el mediano y largo plazo.

Disminuiría también esa parte de problemas de fracturación social por la demanda de luz que es lo que genera el descontento de pobladores de la zona.

Además de que las características hidrográficas de toda esta zona se adaptan perfectamente a este sistema.

Es necesario continuar el trabajo de investigación y desarrollo de esta tecnología, puesto que esta etapa de estudio responde a importantes preguntas sobre el tipo de turbina de acuerdo con las características del arroyo.

La Reforma Energética es que nuestro país utilice combustibles más limpios y mejores tecnologías, esto desencadenará la atención a las regiones para utilizar sus propios recursos en materia de sustentabilidad, el cual fomenta el uso de sistemas de agua apegados también al ahorro de la energía

Herramientas y ciencias apegadas a la contribución para despertar y ayudar a la sociedad en acciones que ligen a la población y gobierno, sobre nuevas direcciones que mejoren la calidad de vida.



Esta investigación expone el estudio de una tecnología alterna, que fortalezca las ideas a las necesidades de electricidad en el Municipio de Agua Dulce Veracruz, o hacia quien lo requiera en la población, ya que puede expandir su aprovechamiento con más sistemas.

Por un lado, se cuenta con el recurso más importante “la fuerza del agua” que genera energía eléctrica la cual es indispensable y este estudio visualiza mediante evaluación y elección de equipo para obtenerla, como lo es la turbina Kaplan.

Este estudio propone generar electricidad y trata de prevenir el desabasto de luz y potencializar el ahorro en el municipio.

Puede ser una medida alterna como otro suministro que puede ser tomado en cuenta para la comisión federal de electricidad.

Es necesario crear la identidad de Agua Dulce Veracruz con la ciencia hídrica que pudiera atraer curiosos de la ciencia también ocupados en estos temas, lo cual puede crear una identidad fuerte en el municipio.

## Bibliografía

- Secretaría de Turismo y Cultura. (s. f.). *Agua Dulce*. Veracruz se antoja. Recuperado 8 de octubre de 2021, de <https://veracruz.mx/destino.php?Municipio=204>
- SEDESOL. (s. f.). *Atlas Nacional de Riesgos*. Atlas de Riesgos del Municipio de Agua Dulce 2011. Recuperado 5 de junio de 2020, de [http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/2011/vr\\_30204\\_AR\\_AGUA\\_DULCE.pdf](http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/2011/vr_30204_AR_AGUA_DULCE.pdf)
- UNESCO. (s. f.). *Hecho 6: La energía hidroeléctrica | Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura*. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). Recuperado 16 de marzo de 2020, de <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-6-hydropower/#:%7E:text=la%20electricidad%20mundial-,La%20energ%C3%ADa%20hidroel%C3%A9ctrica%20suministra%20cerca%20del%2020%25%20de%20la%20electricidad,han%20permitido%20disminuir%20los%20costos.>
- Ramos-Gutiérrez, Leonardo de Jesús, & Montenegro-Fragoso, Manuel. (2012). *Las centrales hidroeléctricas en México: pasado, presente y futuro*. Tecnología y ciencias del agua, 3(2), 103-121. Recuperado en 08 de noviembre de 2021, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222012000200007&lng=es&tlng=es.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222012000200007&lng=es&tlng=es)
- IMTA. (2013, 3 diciembre). *Bases para un centro Mexicano en Innovación de Energía Hidroeléctrica*. 1era Parte: Infraestructura Hidroeléctrica Actual. Recuperado 25 de septiembre de 2021, de <https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros/Potencial-Hidroelectrico-Mexico-1era-Parte.pdf>
- SENER. (s. f.). *Evaluación Rápida del Uso de la Energía*. Evaluación Rápida del Uso de la Energía. Recuperado 29 de diciembre de 2019, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/170907/32\\_\\_Veracruz.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/170907/32__Veracruz.pdf)

- SEMARNAT. (2015, agosto). *Guía de Programas de Fomento a la generación de energías con recursos renovables* (Nº 3). Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental.
- The Nature Conservancy. (s. f.). *Ríos que producen energía y garantizan la conservación*. Hidroenergía por Diseño en México y en todo el mundo. Recuperado 16 de abril de 2020, de <https://www.nature.org/es-us/sobre-tnc/donde-trabajamos/tnc-en-latinoamerica/mexico/historias-en-mexico/rios-que-producen-energia-y-garantizan-la-conservacion/>
- Ministro de Industria, Turismo y Comercio. (2006, septiembre). *Manuales de energías renovables* (Nº 6). Mini centrales Hidroeléctricas.
- Secretaría de Energía. (2008, abril). *Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos* (Nº 1). Dirección Nacional de Prevención.
- EPEC. (2018, febrero). *La tecnología hidroeléctrica* (Nº 2). Archivo Digital de División Publicidad.
- Fedorov A.V., Brierley, C.M., Emanuel, K. (2010). *Tropical cyclones and permanent El Niño in the Early Pliocene*. Nature. Vol. 463: pp. 1066-1070. Recuperado de: <http://www.nature.com/nature/journal/v463/n7284/full/nature08831.html>
- Green, B.H., E.A. Simmons, and I. Woltjer, (1996). *Landscape Conservation: Some Steps Towards Developing a New Conservation Dimension*. A draft report of the IUCN-CESP Landscape Conservation Working Group. Dept. Agriculture, Horticulture and Environment, Wye College, Ashford, Kent, UK.
- SEMARNAT. (2013, abril). *Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10–20–40* (Nº 3). Gobierno de la República.
- Presencia. (2020, 22 diciembre). *Dragado del Aguadulcita no salva de inundaciones*. Presencia.MX. Recuperado 8 de noviembre de 2021, de <https://www.presencia.mx/nota.aspx?id=176807&s=3>
- Garrido, S. G. (2011). *Operación y mantenimiento de centrales de ciclo combinado*. Díaz de Santos.

- CFE. (s. f.). *Tarifa DAC*. Tarifa DAC en el Hogar. Recuperado 21 de agosto de 2021, de <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Tarifas/TarifaDAC.aspx>
- Solís, A. (2021, 13 abril). CFE advierte que las tarifas eléctricas subirán a partir de abril. *Forbes México*. <https://www.forbes.com.mx/economia-cfe-tarifas-electricas-abril/>
- Sputnik Mundo. (2017, 9 octubre). *Flujo de energía: así cualquier río se convierte en una central eléctrica*. Recuperado 15 de junio de 2020, de <https://mundo.sputniknews.com/20171009/hidroelectricidad-alemania-agua-1072998699.html>
- Compañía Hidroeléctrica de Zimapán, S.A. de C.V. Aprovechamiento de Energías Alternativas CAPITULO I - PDF Free Download*. (s. f.). Ejemplo de Compañía Hidroeléctrica. Recuperado 17 de mayo de 2020, de <https://docplayer.es/50682440-Compania-hidroelectrica-de-zimapan-s-a-de-c-v-aprovechamiento-de-energias-alternativas-capitulo-i.html>
- Peusa. (s. f.). *La energía hidráulica procedente de los ríos: cómo aprovechar una fuente autóctona y limpia | Peusa*. Energía hidráulica procedente de ríos. Recuperado 29 de julio de 2020, de <https://www.peusa.org/energia-hidraulica-rius-aprofitar-font-autoctona-neta/?lang=es>
- Upv, V. D. P. U.-. (2017, 23 octubre). *Clasificación de Turbinas | | UPV* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=sDyZyobeP3A&feature=youtu.be>
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía. (s. f.). *Guía para calcular el consumo eléctrico doméstico*. Slideshare. Recuperado 10 de noviembre de 2021, de <https://es.slideshare.net/cruizgaray/gua-para-calcular-el-consumo-elctrico-domstico>
- Hidric. (2021, 1 noviembre). *Turbinas hidráulicas 2020–2021*. Hídric. Recuperado 10 de noviembre de 2021, de <https://www.hidric.com/en/>
- Rela, A. (2010). *Electricidad y electrónica* (1.<sup>a</sup> ed., Vol. 1). Ministerio de Educación de la Nación.

- Gobierno de México. (s. f.). *Electrodomésticos y la eficiencia energética. Comparativo de precios de lavadoras, pantallas y refrigeradores*. Procuraduría Federal del Consumidor. Recuperado 10 de noviembre de 2021, de <https://www.gob.mx/profeco/documentos/electrodomesticos-y-la-eficiencia-energetica-comparativo-de-precios-de-lavadoras-pantallas-y-refrigeradores?state=published>
- Comisión Nacional de los Derechos Humanos. (2018, mayo). *Estudio sobre protección de ríos, lagos y acuíferos desde las perspectivas de los derechos humanos* (Nº 2). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Universidad Estatal Península de Santa Elena. (2017, marzo). *Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control* (Nº 3). Serie de Textos Académicos de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de UPSE.
- U., & Completo, V. M. P. (s. f.). *Turbinas Hidráulicas*. Mantenimiento Industrial. Recuperado 10 de noviembre de 2021, de <http://todoinfomantenimientoindustrial.blogspot.com/2018/01/turbinas-hidraulicas.html>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (s. f.). *Selección y Dimensionamiento de Turbinas Hidráulicas para Centrales Hidroeléctricas*. Facultad de Ingeniería. Recuperado 10 de noviembre de 2021, de <https://docplayer.es/22692064-Seleccion-y-dimensionamiento-de-turbinas-hidraulicas-para-centrales-hidroelectricas.html>
- Centro Alternativo Rural El Limón. (s. f.). *MANUAL DE REFERENCIA SISTEMAS HIDROELÉCTRICOS COMUNITARIOS CENTRO ALTERNATIVO RURAL EL LIMÓN - PDF Descargar libre*. Programa de Pequeños Subsidios. Recuperado 10 de noviembre de 2021, de <https://docplayer.es/42830199-Manual-de-referencia-sistemas-hidroelectricos-comunitarios-centro-alternativo-rural-el-limon.html>
- Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. (2019, julio). *Ajuste del punto de operación de micro-turbinas hidráulicas a través del método de regulación de velocidad combinada* (Nº 3). Universidad de Oriente.

Garrido, S. G. (2011). *Operación y mantenimiento de centrales de ciclo combinado*.  
Díaz de Santos.