



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN
LA CUENCA DEL RÍO LA ANTIGUA, CON ENFOQUE DE
ENERGÍA RENOVABLE**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA

P R E S E N T A :

ING. JOSÉ DE JESÚS RIVAS CARPIO

DIRECTOR DE TESINA: M.I. ALEJANDRO MAYA FRANCO

MÉXICO, D.F.

MAYO 2014

JURADO ASIGNADO AL EXAMEN DE GRADO

PRESIDENTE: M. EN I. NIKTE NORMA OCAMPO GUERRERO

VOCAL: M. EN I. ALEJANDRO MAYA FRANCO

SECRETARIO: M. EN I. AMALIA ADRIANA CAFAGGI FÉLIX

SUPLENTE: ING. JORGE LUIS CABALLERO AGUILAR

SUPLENTE: ING. JULIO SERGIO ACOSTA RODRÍGUEZ

Tutor de tesina

M. EN I. ALEJANDRO MAYA FRANCO

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	IV
1. SUSTENTABILIDAD Y ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO	1
1.1. El desarrollo sustentable	1
1.2. Energías renovables	6
1.3. Pequeñas, mini y micro centrales hidroeléctricas	10
2. DEFINICIÓN DEL ESTUDIO	14
2.1. Objetivo.....	14
2.2. Alcances	14
2.3. Definición del aprovechamiento	15
2.4. Fuentes de información.....	19
2.5. Cuenca La Antigua.....	21
3. DESARROLLO DEL ESTUDIO	25
3.1. Identificación de sitios y determinación de la carga bruta.....	25
3.2. Evaluación del recurso hídrico	30
3.3. Estudio hidroenergético	39
3.4. Selección de las turbinas.....	44
3.5. Esquema conceptual de los proyectos.....	46
4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA.....	57
4.1. Características del potencial hidroeléctrico	57
4.2. Cartera de proyectos.....	62
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
REFERENCIAS	87

INTRODUCCIÓN

Actualmente el tema de sustentabilidad ha tomado un papel muy importante en los diferentes sectores sociales, tanto nacionales como internacionales, debido a los fenómenos naturales que en las últimas décadas ha experimentado la humanidad como el resultado de los estilos de vida que día con día demandan más recursos naturales y energéticos. La fuente energética por excelencia, en el último siglo y hasta estos días, ha sido la energía derivada de los combustibles fósiles que tienen la desventaja de producir gases de efecto invernadero. También los problemas geopolíticos y económicos en que frecuentemente se ven envueltos estos recursos energéticos, han planteado la imperiosa necesidad de buscar fuentes de energía alternativas, amigables con el medio ambiente e independientes de estos problemas.

A nivel mundial la Organización de las Naciones Unidas a través de la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo, es la principal institución encargada de difundir y promover el desarrollo sustentable entre los países signatarios. El principal convenio firmado hasta la fecha en materia de mitigación del cambio climático, ha sido el protocolo de Kioto, en donde México forma parte de esta organización y, el desarrollo de energías renovables en territorio nacional tiene un peso preponderante en el desarrollo sustentable del país. En México a partir de los años 80's con la publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, el desarrollo sustentable ha tomado un papel importante en los diferentes planes del desarrollo nacional. Es importante mencionar que por mandato de ley la Secretaría de Energía se fijará como meta una participación máxima de 65 por ciento de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica para el año 2024, del 60 por ciento en el 2035 y del 50 por ciento en el 2050.

Las fuentes de energía alternativa también conocidas como energías renovables, tienen muchas aristas positivas en el desarrollo de una sociedad, pues diversifica su portafolio energético, mejora la seguridad energética, son promotoras de la equidad energética, apoyan el desarrollo sustentable, entre muchas otras.

En este trabajo se ha elaborado una evaluación de potencial hidroeléctrico estableciendo el enfoque de sustentabilidad y energía renovable, y para lograr tal objetivo se ha tomado como referencia el marco jurídico nacional relacionado con el tema. Debe entenderse que este es un estudio de identificación, por lo cual, la información utilizada se encuentra disponible en las principales instituciones relacionadas y generalmente a bajo costo.

Se cuenta con una propuesta técnica que corresponde a la manera como se pretende aprovechar el recurso hidroeléctrico y las obras civiles que componen a cada proyecto identificado, lo cual es muy importante, pues permite definir el potencial hidroeléctrico. Asimismo se presenta un resumen con las características generales del potencial hidroeléctrico. Como síntesis de la propuesta técnica se tiene una cartera de proyectos que está compuesta por las fichas técnicas de los proyectos. Para finalizar el trabajo se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

1. SUSTENTABILIDAD Y ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO

1.1. EL DESARROLLO SUSTENTABLE

1.1.1. Definición de desarrollo sustentable

La primera definición internacionalmente reconocida de este concepto se presentó en el documento denominado Informe Brundtland (1987), como resultado de los trabajos de la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, creada en la Asamblea de las Naciones Unidas en 1983. Dicha definición evolucionó asumiendo el Principio de la Declaración de Río (1992) para finalmente quedar establecida de la siguiente manera:

"Aquel desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades".

El desarrollo sustentable (o sostenible) se refiere a la utilización de forma racional e inteligente de los recursos naturales como patrimonio de las sociedades. Cuidando que no sean agotados, sobre todo con la lógica de la maximización de las ganancias a corto plazo. Para que las generaciones futuras puedan hacer uso de ellos igual que hemos hecho nosotros, es decir, sin que nuestras prácticas, fundamentalmente económicas, imposibiliten el futuro de la vida humana en la Tierra. De esta manera el enfoque actual de este tipo de desarrollo es la búsqueda sistemática de compatibilizar los aspectos ambientales, con los económicos y los sociales, desde una perspectiva solidaria tanto intergeneracional como intrageneracional

Por tanto, el concepto de desarrollo sustentable, si bien procede de la preocupación por el medio ambiente, no responde a temas fundamentalmente ambientales, sino que trata de superar la visión del medio ambiente como un aspecto que hay que preservar aparte de la actividad humana. Dado que toda actividad humana productiva tiene algún tipo de relación con el medio ambiente, la mejor manera de protegerlo es tenerlo en cuenta en todas las decisiones que se adopten; por ello el concepto de desarrollo sustentable implica necesariamente tres ejes rectores uno ambiental, uno económico y uno social. Al respecto, el elemento social no se introduce como una concesión o por mera justicia humana, sino por la evidencia de que el deterioro ambiental está tan asociado con la opulencia y los estilos de vida de los países desarrollados y las élites de los países en desarrollo, como con la pobreza y la lucha por la supervivencia de la humanidad marginada.

1.1.2. El desarrollo sustentable en el marco de la legislación Mexicana

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988, es el principal instrumento legal de política ambiental nacional y en ella se utiliza la definición de Desarrollo Sustentable. El solo tomar Artículos seleccionados de esta ley posibilita comprender tanto la definición y la importancia que tiene el concepto de Desarrollo Sustentable dentro de este marco legal federal como instrumentos disponibles para alcanzar este objetivo. Asimismo permite comprender el enfoque con el que se analizan los aspectos contenidos en este documento.

A. Se establece como el objeto de la LGEEPA propiciar el desarrollo sustentable:

ARTICULO 1o.- La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:

V.-El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas;

- B.** Se define el concepto para los efectos de esta ley y se le asocia directamente con la mejora de la calidad de vida y la productividad de las personas:

ARTICULO 3o.- *Para los efectos de esta Ley se entiende por:*

XI. -Desarrollo Sustentable: *El proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras;*

- C.** Se instauran los principios que deben ser seguidos por el Ejecutivo Federal para la formulación y conducción de la política ambiental, así como para la expedición de normas y demás instrumentos de política ambiental previstos en la Ley, señalando entre otros, el de incentivar la protección y el aprovechamiento sustentable. Asimismo la erradicación de la pobreza como elemento necesario para el desarrollo sostenible:

ARTÍCULO 15.- *Para la formulación y conducción de la política ambiental y la expedición de normas oficiales mexicanas y demás instrumentos previstos en esta Ley, en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente, el Ejecutivo Federal observará los siguientes principios:*

IV.- *Quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar el ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que cause, así como a asumir los costos que dicha afectación implique. Asimismo, debe incentivarse a quien proteja el ambiente y aproveche de manera sustentable los recursos naturales;*

XIV.- *La erradicación de la pobreza es necesaria para el desarrollo sustentable.*

D. Se establecen los instrumentos de política ambiental para lograr el Desarrollo Sostenible:

CAPÍTULO IV: *Instrumentos de la Política Ambiental*

SECCIÓN I: *Planeación Ambiental*

SECCIÓN II: *Ordenamiento Ecológico del Territorio*

SECCIÓN III: *Instrumentos Económicos*

SECCIÓN IV: *Regulación Ambiental de los Asentamientos Humanos*

SECCION V: *Evaluación del Impacto Ambiental*

SECCIÓN VI: *Normas Oficiales Mexicanas en Materia Ambiental*

SECCIÓN VII: *Autorregulación y Auditorías Ambientales*

SECCIÓN VIII: *Investigación y Educación Ecológicas*

E. Se definen los instrumentos económicos para incentivar el cumplimiento de los objetivos de la ley y para promover un cambio de conducta y tratar de hacer compatibles los intereses colectivos con los de la protección y el desarrollo.

ARTÍCULO 21.- *La Federación, los Estados y el Distrito Federal, en el ámbito de sus respectivas competencias, diseñarán, desarrollarán y aplicarán instrumentos económicos*

que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental, y mediante los cuales se buscará:

I.-Promover un cambio en la conducta de las personas que realicen actividades industriales, comerciales y de servicios, de tal manera que sus intereses sean compatibles con los intereses colectivos de protección ambiental y de desarrollo sustentable;

ARTÍCULO 22.- Se consideran instrumentos económicos los mecanismos normativos y administrativos de carácter fiscal, financiero o de mercado, mediante los cuales las personas asumen los beneficios y costos ambientales que generen sus actividades económicas, incentivándolas a realizar acciones que favorezcan el ambiente. Se consideran instrumentos económicos de carácter fiscal, los estímulos fiscales que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental. En ningún caso, estos instrumentos se establecerán con fines exclusivamente recaudatorios.

Son instrumentos financieros los créditos, las fianzas, los seguros de responsabilidad civil, los fondos y los fideicomisos, cuando sus objetivos estén dirigidos a la preservación, protección, restauración o aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y el ambiente, así como al financiamiento de programas, proyectos, estudios e investigación científica y tecnológica para la preservación del equilibrio ecológico y protección al ambiente.

F. *Se fija el sentido de la expedición de normas en materia ambiental como garantía entre otros aspectos de la sostenibilidad de las actividades económicas y el aprovechamiento de los recursos naturales, asimismo servir como instrumentos de fomento a las actividades productivas en un marco de eficiencia y productividad.*

ARTICULO 36.- Para garantizar la sustentabilidad de las actividades económicas, la Secretaría emitirá normas oficiales mexicanas en materia ambiental y para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, que tengan por objeto:

III.-Estimular o inducir a los agentes económicos para reorientar sus procesos y tecnologías a la protección del ambiente y al desarrollo sustentable;

IV.-Otorgar certidumbre a largo plazo a la inversión e inducir a los agentes económicos a asumir los costos de la afectación ambiental que ocasionen, y;

V.-Fomentar actividades productivas en un marco de eficiencia y sustentabilidad.

Lo anterior pone de manifiesto que, el Desarrollo Sustentable es un mandato de Ley cuyo alcance debe constituir la meta sustantiva de la actuación de los diferentes sectores de nuestra sociedad en lo general y de la gestión pública en lo particular.

1.2. ENERGÍAS RENOVABLES

Son aquellas que se regeneran y se espera que perduren por cientos o miles de años. Además, se distribuyen en amplias zonas y su adecuada utilización tiene un impacto ambiental favorable en el entorno, elemento que hoy se convierte en una herramienta de gran importancia, ante la necesidad de disminuir significativamente la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial.

1.2.1. Marco constitucional

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos contiene en sus artículos 27 y 28, varios preceptos en los que el uso y aprovechamiento de las energías renovables y no renovables se sustentan. También, el derecho que se otorga a la Nación de regular el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación (artículo 27), con

objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país, entre otras.

1.2.1.1. Leyes relacionadas con el aprovechamiento de las energías renovables

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

El 28 de noviembre del 2008, se publicó en el Diario Oficial de la Federación la LAERFTE. Esta ley tiene por objeto regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias para la generación de 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”.

Para lograr la implementación y uso de las energías renovables, el Reglamento de la LAERFTE impone distintas obligaciones a la Secretaría de Energía (SENER) para la promoción de las fuentes de energía renovables, mediante programas, políticas públicas, evaluación de costos, fomento al desarrollo social; así como la regulación de licitaciones de proyectos de energías renovables.

Es importante mencionar que el 1º de junio de 2011 se publicó un decreto de reforma a la LAERFTE, en dónde se incluyó que, para efectos de la fracción III de su artículo 11º, la SENER fijará como meta una participación máxima de 65 por ciento de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica para el año 2024, del 60 por ciento en el 2035 y del 50 por ciento en el 2050. Dichas metas quedaron expresadas en la Estrategia Nacional de Energía 2012-2026, lo cual permitirá a la SENER prever los escenarios de planeación de acorde a lo estipulado en la LAERFTE para cumplir con la meta.

Además, el 12 de enero de 2012 se publicó el decreto que reforma la fracción II del artículo 1º de la LAERFTE, acotando las condiciones para incluir a proyectos hidroeléctricos de más de 30 MW en la definición de energía renovable. De acuerdo a esta reforma, se incluyen dentro de la regulación de esta Ley los siguientes casos:

- a) Almacenamientos menores a 50 mil m³ de agua o que tengan un embalse con una superficie menor a 1 hectárea y que no rebasen dicha capacidad de almacenamiento.

Ésta se refiere a embalses ya existentes, aún de una capacidad mayor, que sean aptos para generar electricidad.

Ley de Aguas Nacionales (LAN)

Esta Ley es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales. Tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control; así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

La reforma al Artículo 120 del Reglamento de esta Ley (DOF, 24/05/2011) establece que no se requerirá concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de agua, en los términos del Artículo 80º de la Ley, cuando sea para generación de energía hidroeléctrica en pequeña producción o escala, entendida como tal, aquella que realizan personas físicas o morales aprovechando las corrientes de ríos y canales, sin desviar las aguas ni afectar su cantidad ni calidad, y cuya capacidad de generación no exceda de 30 MW.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su Protocolo de Kioto

De acuerdo con la legislación mexicana, los tratados y convenios internacionales que son aprobados por el Senado de la República crean obligaciones vinculantes que están por encima de las leyes generales, inmediatamente por debajo de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. En este sentido, nuestro país es signatario de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), mediante la cual México se compromete a “formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales y, según proceda, regionales, que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático [...]”.

Derivado de las negociaciones de la CMNUCC, en 1997 se elaboró el Protocolo de Kioto, el cual tiene como finalidad regular los niveles de emisiones de GEI mediante distintos mecanismos y reglas, según el tipo de país de que se trate. Este protocolo estableció un instrumento denominado Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), mediante el cual países desarrollados pueden financiar proyectos de mitigación de GEI dentro de países en desarrollo, por ejemplo México, y recibir a cambio Certificados de Reducción de Emisiones (instrumento también derivado del Protocolo), los cuales pueden ser usados por los países desarrollados para cumplir con sus compromisos de reducción acordados.

Para registrar proyectos MDL es necesaria una carta de aprobación emitida por la Autoridad Nacional Designada (AND), en México esa autoridad recae en el Secretariado de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), ejercida por la SEMARNAT. México tiene ante el mundo un papel importante al participar en acciones que contribuyen a la reducción de gases de efecto invernadero.

Es importante agregar que estos proyectos generan Reducciones Certificadas de Emisiones o bonos de carbono (CER por sus siglas en inglés), los cuales son comercializables en un mercado internacional de carbono.

1.3. PEQUEÑAS, MINI Y MICRO CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

La clasificación por tipo de central hidráulica de acuerdo con su potencia nominal se define de la siguiente manera, con base en su mayor aceptación en el mundo: Micro; ≤ 100 kW; Mini; $100 < \text{kW} < 1,000$; Pequeña; $1 \leq \text{MW} < 30$. En México, la LAERFTE establece como renovable a los proyectos hidroeléctricos con capacidad hasta 30 MW, o proyectos hidroeléctricos de más de 30 MW con almacenamientos menores a 50 mil m³ de agua o que tengan un embalse con una superficie menor a 1 hectárea y que no rebasen dicha capacidad de almacenamiento. Ésta se refiere a embalses ya existentes, aún de una capacidad mayor, que sean aptos para generar electricidad.

Situación actual

La capacidad de generación hidráulica para servicio público que opera la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en centrales con una capacidad igual o menor que 30 MW se integra por 94 unidades en 42 centrales, con una capacidad total de 286.6 MW (véase Tabla 1.1). Esta capacidad instalada para la generación eléctrica por medio de las plantas, mini y micro hidroeléctricas se concentra en 14 estados de la República (menores que 30 MW). Cabe destacar la existencia de plantas instaladas hace ya más de cien años, las cuales siguen en servicio, como es el caso de las ubicadas en los estados de Hidalgo, México y Puebla.

TABLA 1.1. Capacidad efectiva de generación de centrales hidroeléctricas para servicio público menor o igual a 30 MW, al 31 de diciembre de 2011

Centrales	Unidades	Capacidad efectiva instalada (MW)	Estado
2	5	28	Chihuahua
3	10	28.48	Chiapas
2	9	38	Guerrero
2	3	3.967	Hidalgo
2	3	14.32	Jalisco
8	14	14.063	México
7	14	29.68	Michoacán
1	4	2.18	Nayarit
1	2	2.48	Oaxaca
3	8	8.36	Puebla
1	2	14	Sinaloa
3	5	20.13	San Luis Potosí
2	3	28.8	Sonora
5	12	54.2	Veracruz
42	94	286.66	

En lo que corresponde a plantas hidroeléctricas que no son de servicio público, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) otorgó 27 permisos de generación al 31 de diciembre de 2011 con una capacidad de 305.1 MW, las cuales están situadas en nueve estados de la República (véase Tabla 1.2). De estas plantas, 24 tienen permiso para autoabastecimiento y 3 de pequeña producción, pero sólo 16 plantas se encuentran en operación con una capacidad de 147.0 MW, para una generación autorizada anual de 774 GWh/año.

TABLA 1.2. Permisos de generación para plantas hidroeléctricas menores o iguales que 30 MW, al 31 de diciembre de 2011

Estado Actual	No. De plantas	Cap. autorizada (MW)	Energía autorizada (GWh/año)	Localización
En construcción	8	132.6	682.7	Baja California, Guerrero, Jalisco, Nayarit, Oaxaca y Veracruz
En operación	16	147	774	Durango, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Puebla y Veracruz
Inactivos	3	25.5	142.4	Jalisco, Oaxaca y Puebla
Total	27	305.1	1,599.10	

Potencial de aprovechamiento

Dentro de la evaluación integral realizada por la CFE, respecto del potencial hidroeléctrico en México, no se contempla el potencial de las pequeñas, mini y micro hidroeléctricas. Esto se debe a que los potenciales estimados por CFE corresponden a proyectos con una capacidad de generación mayor a los 40 GWh/año. Sin embargo, existen algunos estudios que permiten conocer los potenciales regionales, e identificar de manera general el potencial dichas escalas de proyecto en el país. Investigaciones llevadas a cabo por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE, antes Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, CONAE) identificaron, en la sierra norte de Puebla y Veracruz, un potencial estimado de 364 MW de potencia media y 61 MW de potencia instalada, con una generación media anual de más de 3,526.1 GWh/año (véase Tabla 1.3).

TABLA 1.3. Potencial identificado de generación para pequeña, mini y micro-hidroeléctrica en tres regiones de México

Región	No. de sitios	Potencia media (MW)	Potencia instalada (MW)	Generación media anual (GWh/año)
Golfo (1994)	62	364	-	3,189.50
Orizaba-Xalapa (2003)	8	-	47	240.80
Zongolica (2004)	2	-	14	95.80
Total	72	364	61	3,526.10

Por otra parte, el estudio “Estimación del Recurso para Pequeña, Mini y Micro Hidroenergía: Aplicaciones en México” realizado para la SENER establece, de manera preliminar, que el potencial de generación de la pequeña, mini y micro hidroeléctrica es de aproximadamente 2,800 MW de potencia media, con una producción de 9.79 TWh/año, con base en referencias internacionales y del propio potencial establecido por la CFE para plantas con una generación mayor que 40 GWh/año.

No obstante, es importante realizar nuevos estudios contemplando evaluaciones de potencial más completos.

2. DEFINICIÓN DEL ESTUDIO

2.1. OBJETIVO

Realizar la evaluación del potencial hidroeléctrico en la cuenca del Río La Antigua, estado de Veracruz, de la República Mexicana, con un enfoque de energía renovable y sustentable. Identificar proyectos (sitios), susceptibles para desarrollar un aprovechamiento hidroeléctrico, que cuenten con características suficientes para poder ser considerados en distintos programas regionales o estatales de desarrollo de energías renovables.

2.2. ALCANCES

Un aprovechamiento hidráulico necesita, para generar electricidad, un determinado caudal y un cierto desnivel. Por lo cual, para desarrollar la evaluación del potencial hidroeléctrico es necesario estudiar las características morfológicas del terreno y el comportamiento del escurrimiento en los principales cauces.

Para lograr el objetivo de este trabajo, es menester: recopilar información cartográfica e identificar posibles sitios, con características suficientes para desarrollar un aprovechamiento hidroeléctrico; recopilar información hidrométrica y analizarla; realizar los análisis hidroenergéticos, determinar su potencia instalada y la energía esperada y definir el esquema conceptual del aprovechamiento. Todo lo anterior con los lineamientos que son establecidos en la “Definición del Aprovechamiento”. Como resultado final de este

trabajo se tendrá un resumen de los proyectos identificados, la potencia instalable y la energía media anual esperada y una cartera de proyectos, en la cuenca del río La Antigua.

Para complementar el trabajo se tendrá una ficha técnica de cada sitio identificado, en el cual se resumirá la siguiente información:

- Nombre asignado al proyecto
- Ubicación en coordenadas geográficas y corriente aprovechada
- Descripción conceptual del aprovechamiento
- Estimación de la longitud necesaria para caminos de acceso
- Gasto equipado, potencia instalable y generación media anual
- Tipo de turbinas
- Estimación de la longitud de línea de transmisión

2.3. DEFINICIÓN DEL APROVECHAMIENTO

Es necesario definir el concepto que muestre la manera como se pretende aprovechar el recurso hidroeléctrico, el cual debe seguir la definición de energía renovable según las leyes aplicables y los tres ejes de sustentabilidad (ambiental, económico y social).

2.3.1. Energía hidroeléctrica renovable

Tomado los principios generales que se establecen en la LAERFTE y la LAN para considerar proyectos de energía hidroeléctrica renovable; se establecen proyectos con capacidad hasta 30 MW, o de más de 30 MW con almacenamientos menores a 50 mil m³ de

agua o que tengan un embalse con una superficie menor a 1 hectárea y que no rebasen dicha capacidad de almacenamiento. En este punto se proponen proyectos que están dentro de la clasificación de pequeñas centrales hidroeléctricas, donde su potencia instalada se encuentre entre 1 a 30 MW, pues debido a la precisión de la información disponible para este estudio se ha considerado esta propuesta como la más indicada.

2.3.2. Eje de sustentabilidad ambiental

Está directamente relacionado con la preservación del medio ambiente. Para esto se ha propuesto que los proyectos identificados sean ambientalmente aceptables y satisfagan lo siguiente:

1. Limitar el gasto aprovechable a gastos no mayores al primer cuartil del mes más seco del registro hidrométrico analizado.
2. Mantener un escurrimiento en todos los cauces de la cuenca.
3. No almacenar volúmenes de agua para evitar cambios en el régimen del escurrimiento.
4. La carga o desnivel aprovechable tiene como límite las características topográficas del terreno y las características del sitio.
5. Con el fin de no generar inundaciones importantes, las obras de captación se limitan a 10 metros de altura.
6. Disminuir impactos ambientales adaptando las obras civiles a las condiciones del entorno.

En relación con los puntos anteriores, se propone aprovechar el potencial hidroeléctrico utilizando las condiciones naturales de la cuenca sin producir afectaciones ambientales importantes. La solución técnica óptima para lograr el aprovechamiento hidroeléctrico y cumplir con la sustentabilidad ambiental, resulta ser las centrales hidroeléctricas a hilo de agua.

Centrales hidroeléctricas a hilo de agua

Se construyen en los ríos en los que la energía hidráulica existente es suficiente para accionar las turbinas, el agua a turbinar se capta del cauce del río por medio de una obra de toma, y una vez turbinada, se devuelve al río en un punto distinto al de captación. En la figura 2.1 puede verse un esquema sencillo de este tipo de centrales.

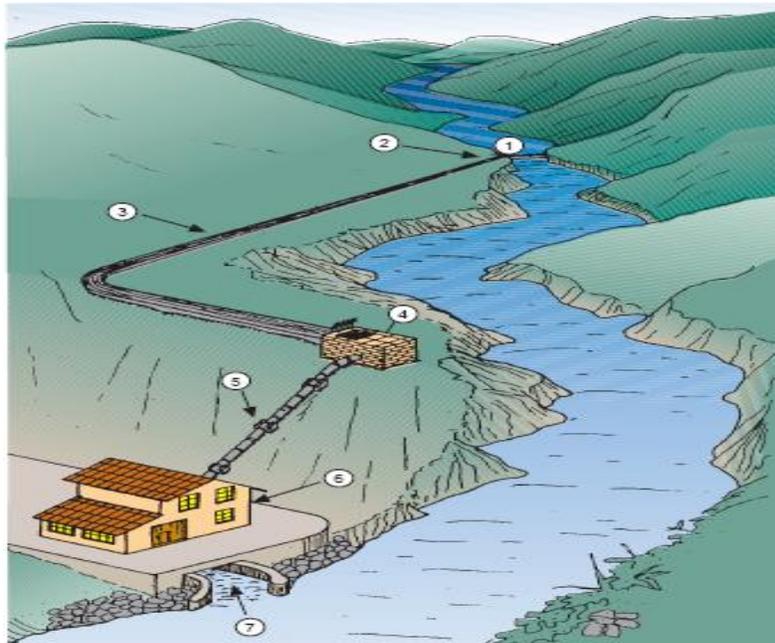


FIGURA 2.1. Esquema de una central hidroeléctrica a hilo de agua

Los elementos principales de las instalaciones que pueden observarse en la figura 2.1 son

1. Presa derivadora
2. Obra de Toma
3. Canal de derivación
4. Tanque de carga
5. Tubería a presión
6. Casa de máquinas

7. Canal de desfogue

2.3.3. Eje de sustentabilidad económica

Comprende todos los temas relacionados con la rentabilidad económica y el fomento al desarrollo económico de los proyectos. En los alcances de este trabajo no se aborda el tema de evaluación económica, pero es importante mencionar algunos puntos sobre este eje de sustentabilidad. Para establecer el tema económico y considerar que los proyectos son sustentables económicamente, se han considerado los siguientes puntos:

1. Cuentan con las características necesarias para ser considerados en los diferentes mecanismos legales de apoyo y de fomento a las energías renovables, en el ámbito nacional.
2. Pueden ser considerados dentro de los mecanismos de desarrollo limpio (MDL) y ser acreedores a Reducciones Certificadas de Emisiones (CER), los cuales son comercializables en el mercado internacional de carbono.
3. Son promotores del empleo y el desarrollo de la actividad productiva en las inmediaciones de los centros poblacionales que los rodean.
4. Utilizar la infraestructura existente para beneficio de los proyectos, caminos de acceso, líneas de interconexión, entre otras.
5. En etapa de construcción y operación, utilizar mano de obra local y materiales disponibles en las zonas locales.

2.3.4. Eje de sustentabilidad social

Incluir la sustentabilidad social resulta ser específica de cada proyecto, pues cada uno puede satisfacerla de manera distinta y dependerá en cada caso de las condiciones particulares que rodean al proyecto. Sin embargo, una directriz que se ha tomado en la

definición de los proyectos, con el fin de establecer la sustentabilidad social, es beneficiar a las comunidades locales.

Con la propuesta de aprovechamientos hidroeléctricos, como sistemas aislados, en los cuales las comunidades locales sean las principales consumidoras, será la manera en la cual se podrá cumplir la sustentabilidad social. También es imperioso que todas las decisiones, en todo el horizonte de planeación de los proyectos, se establezcan reuniones y conciliaciones con las comunidades locales mediante distintos programas sociales.

2.4. FUENTES DE INFORMACIÓN

Las principales fuentes de información pública que se consultaron son: el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), Comisión Federal de Electricidad (CFE), La Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (SEMARNAT), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), entre otras.

2.4.1. Información cartográfica y topográfica

La información proporcionada por el INEGI a través de su cartografía a diferentes escalas (1:1 000 000, 1:250 000 y 1:50 000), son la base para el estudio de evaluación de potencial hidroeléctrico. Con el propósito de complementar la información y enriquecer el estudio, se consultaron otras tecnologías como las fotografías aéreas y satelitales, que son recomendables como apoyo; es el caso del software Google Earth que permite visualizar

físicamente los sitio y el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL) disponible en la página de internet del INEGI.

La cartografía proporcionada por el INEGI, utilizada para definición de la carga bruta y los esquemas conceptuales de cada proyecto, es la que se encuentra a escala de 1:50 000 y en forma vectorial, en formato (dwg) georeferenciada, la cual puede ser manipulada con el software Civil Cad 3D. Esta cartografía tiene curvas de nivel equidistantes a 20 m y es la que se suele usar a este nivel de estudio.

2.4.2. Información hidrométrica

Con el fin de conocer el régimen de los escurrimientos, se consultó la información hidrométrica disponible del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) de la CONAGUA, publicado por la CONAGUA y el IMTA a través de sus páginas electrónicas. En el BANDAS se encuentra toda la información hidrométrica disponible a nivel nacional, agrupada según las regiones hidrológicas definidas por la CONAGUA. Dentro de esta información consultada se encuentran la ubicación de las estaciones hidrométricas, en algunos casos fichas de información, los gastos medios diarios, máximos anuales, medios mensuales, entre otros.

2.5. CUENCA LA ANTIGUA

2.5.1. Información general

La cuenca del río La Antigua es una de las más importantes del centro del estado de Veracruz (Figura 2.2), abarca un área de 2 827 km²; se ubica entre los 19°05' y 19°34' de latitud norte, 96°06' y 97°16' de longitud oeste; pertenece a la región hidrológica número 28 del río Papaloapan y se localiza en la porción sudoccidental del Golfo de México (CONAGUA, 2001). Esta cuenca es de gran importancia por la agricultura, en ella se cultiva café, caña de azúcar, maíz, mango, entre otros; pero además es la fuente principal de agua de las ciudades de Xalapa y Coatepec. El río La Antigua nace en la Sierra Madre Oriental, con el nombre de río Resumidero, a una altitud de 3 350 msnm, en el estado de Puebla. Fluye hacia el sureste en terreno montañoso y pasa por varias poblaciones como Jalcomulco y Apazapan donde se practica el deporte acuático (rápidos).

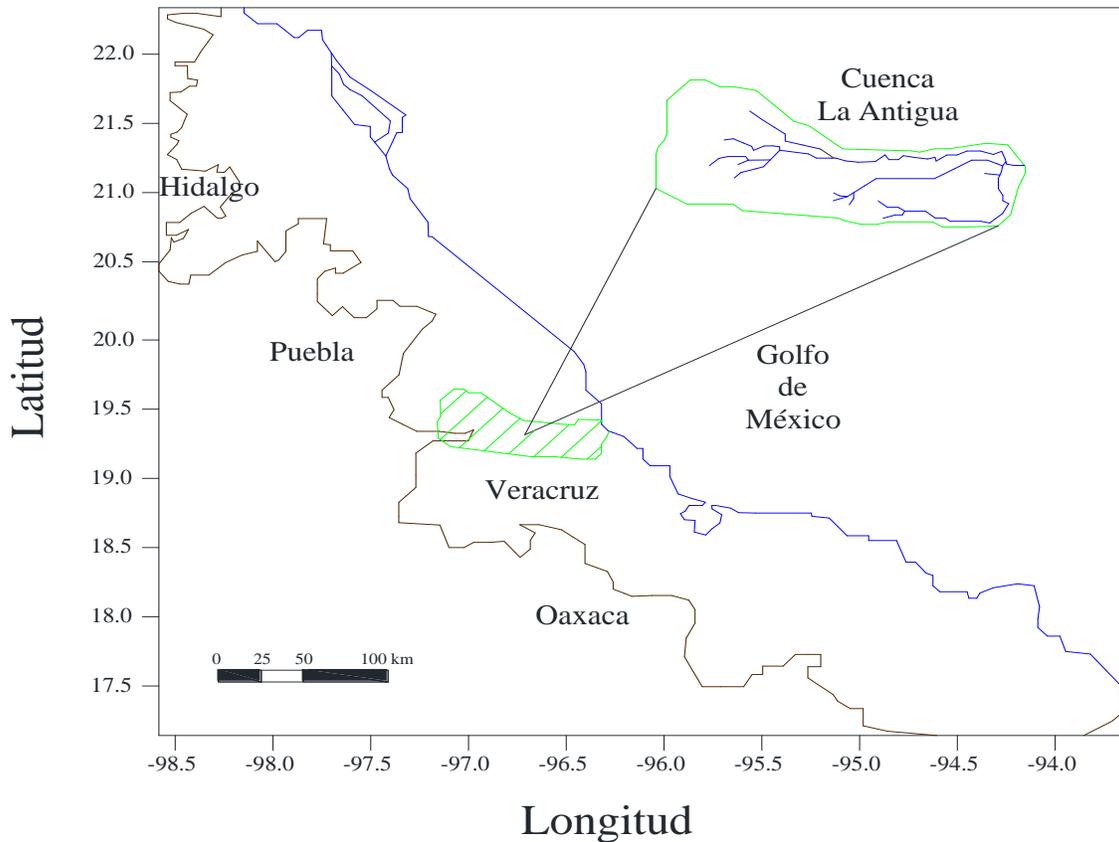


FIGURA 2.2. Ubicación geográfica de la cuenca del Río La Antigua

Dentro de los tipos de vegetación cuenta con: bosque de pino-encino, bosque mesófilo, selva baja caducifolia, vegetación riparia, cafetales, pastizal inducido y cultivado. La parte norte del área es actualmente un paisaje rural donde solo se observan remanentes de la vegetación original (bosques de coníferas y mesófilos de montaña), y hacia el sur existe un segmento de vegetación altamente conservado (Navarrete *et al.*, 2006). Según los registros climatológicos, en el periodo 1961 a 1990 (SMN, 2008), la temperatura media anual es 22.3°C y oscila entre los 18.7 y 25.2°C . En los meses de abril y mayo se presentan los valores más altos y en noviembre, diciembre, enero y febrero las temperaturas más bajas. La precipitación media anual es de $1\,393\text{ mm}$ con valores altos en la parte alta de la cuenca, en la zona montañosa, mayores a $2\,000\text{ mm}$, y valores bajos en la parte central, entre 900 y $1\,000\text{ mm}$. La evaporación media anual es de $1\,340\text{ mm}$, en los meses de marzo a mayo es más intensa, y en el mes de diciembre se presenta el valor mínimo. En cuanto al

escurrimiento de la cuenca, en la desembocadura de esta, al Golfo de México, escurren anualmente 1 789.66 millones de metros cúbicos (CONAGUA, 2008).

2.5.2. Hidrografía de la cuenca

El Río La Antigua nace a 3,350 m.s.n.m. al oriente de la población de González Ortega del Estado de Puebla en la Sierra Madre Oriental con el nombre de río Resumidero, fluye hacia el sureste en el terreno montañoso y a la altura del Rancho Calixitla varía su rumbo hacia el este-noreste hasta la confluencia con el río Barranca Grande a 3 km del cerro del mismo nombre; este afluente nace a 3,340 m.s.n.m. en la población suroccidental del Cofre de Perote, fluye en terrenos de topografía accidentada de fuertes pendientes hasta su afluencia con el río Resumidero, por la margen izquierda a 1350 m.s.n.m., en este sitio el colector general cambia su nombre a río Los Pescados, sigue su curso sureste y en los límites de los estados de Puebla y Veracruz lo cambia al noreste, aguas abajo a 11.5 km de Amatitla afluye por la margen izquierda el río Cozalapan, éste y el río Texolo capturan las corrientes formadas en la pendiente oriental del Cofre de Perote. En esta confluencia el colector general cambia su nombre a río La Antigua, sigue su curso sureste y 4.5 km aguas abajo de la población de Jalcomulco afluye por la margen izquierda el arroyo Tlacoyonca, continuando el colector su flujo hacia el este por una zona de meandros y pequeñas a las elevaciones hasta la afluencia por la margen derecha del río Zacoapan aguas arriba de Puente Nacional. El colector continúa su recorrido hacia el oriente a través de terreno plano aprovechable para cultivo, forma un gran número de meandros hasta llegar al el Golfo de México.

2.5.3. Municipios localizados en la cuenca

En la tabla 2.1 se enlistan los municipios y poblaciones que conforman a la cuenca del río La Antigua.

TABLA 2.1. Municipios y población en la cuenca del río La Antigua

Municipio	Estado	No. de Habitantes (censo INEGI 2010)
Chichiquila	Puebla	24,148
Chilchotla	Puebla	19,257
Quimixtlan	Puebla	21,275
Antigua, La	Veracruz	25,500
Apazapan	Veracruz	4,027
Ayahualulco	Veracruz	25,456
Coatepec	Veracruz	86,696
Cosautlan de Carvajal	Veracruz	15,668
Ixhuacan de los Reyes	Veracruz	10,724
Jalcomulco	Veracruz	4,940
Paso de Ovejas	Veracruz	32,576
Puente Nacional	Veracruz	21,603
Tenampa	Veracruz	6,247
Teocelo	Veracruz	16,327
Tlacotepec de Mejia	Veracruz	3,965
Tlaltetela	Veracruz	14,613
Totutla	Veracruz	16,403
Veracruz	Veracruz	552,156
Xalapa	Veracruz	457,928
Xico	Veracruz	35,188
TOTAL		1,394,697

3. DESARROLLO DEL ESTUDIO

3.1. IDENTIFICACIÓN DE SITIOS Y DETERMINACIÓN DE LA CARGA BRUTA

3.1.1. Identificación de sitios

Para generar electricidad en una pequeña central hidroeléctrica se necesita de un gasto y una carga hidráulica, por lo cual, en la identificación de los sitios se buscó la combinación de estas dos variables; de manera que se consideraron cauces donde se cuenta con información hidrométrica. En el caso en que no se encontró información hidrométrica cercana, se consideraron cauces tributarios a un cauce principal aforado con orden de corriente de por lo menos igual a 3, esto con el fin de tener un gasto confiable para generación de energía eléctrica. Para la valoración de la carga bruta se buscaron tramos en los cauces donde es posible aprovechar un desnivel considerable, según la combinación carga bruta-gasto que proporcione una potencia atractiva según los objetivos de este estudio.

También para definición de los sitios se tomo en cuenta; la ubicación de centros poblacionales cercanos, vías de comunicación, líneas de transmisión, infraestructura favorable para cada proyecto, evitar problemas evidentes, accesibilidad a los sitios, entre otros. Además, se atendió al cumplimiento de la “Definición de aprovechamiento de energía hidroeléctrica renovable y sustentable”.

En este punto del estudio se asigna el nombre a cada uno de los proyectos identificados, para esto se tomaron nombres de poblaciones o rasgos particulares que rodean a los proyectos.

En la figura 3.1 se ilustra la información topográfica vectorial con las imágenes satelitales de Google Earth y en la figura 3.2 se muestra una imagen extraída del SIATL, donde estas herramientas sirvieron en la identificación de los sitios.

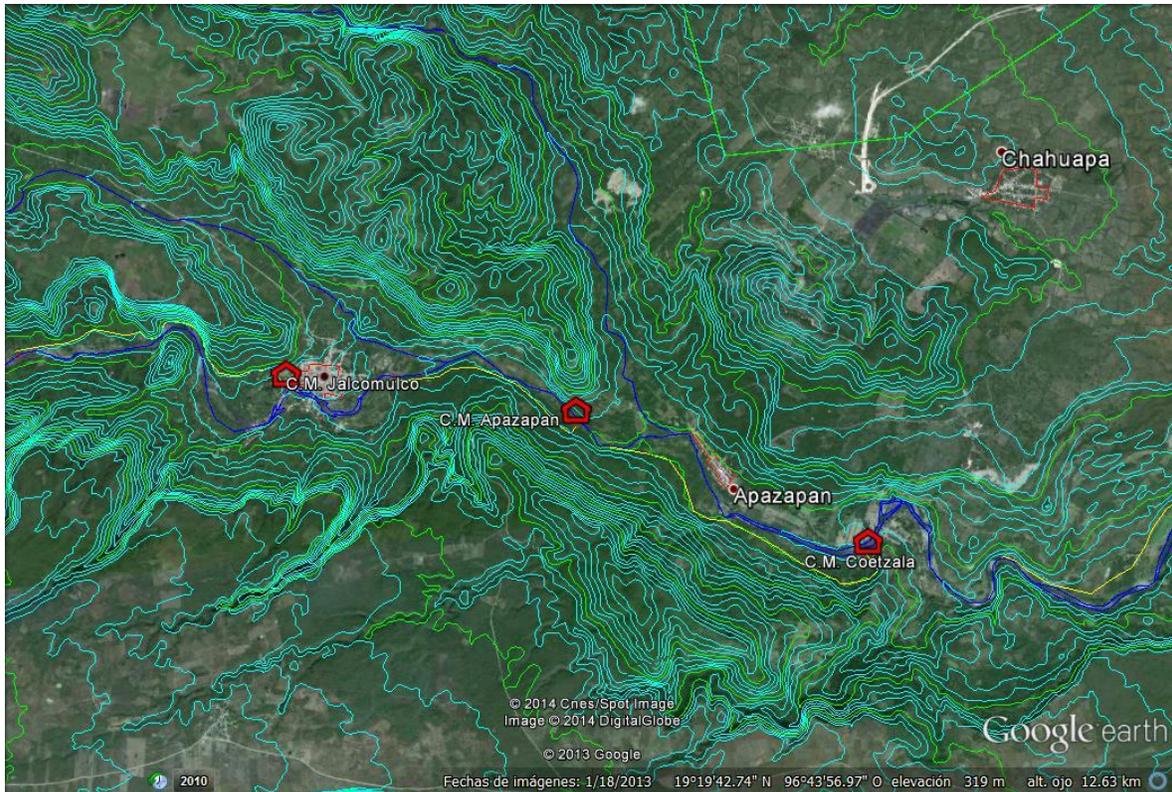


FIGURA 3.1. Información topográfica vectorial e imagen de Google Earth

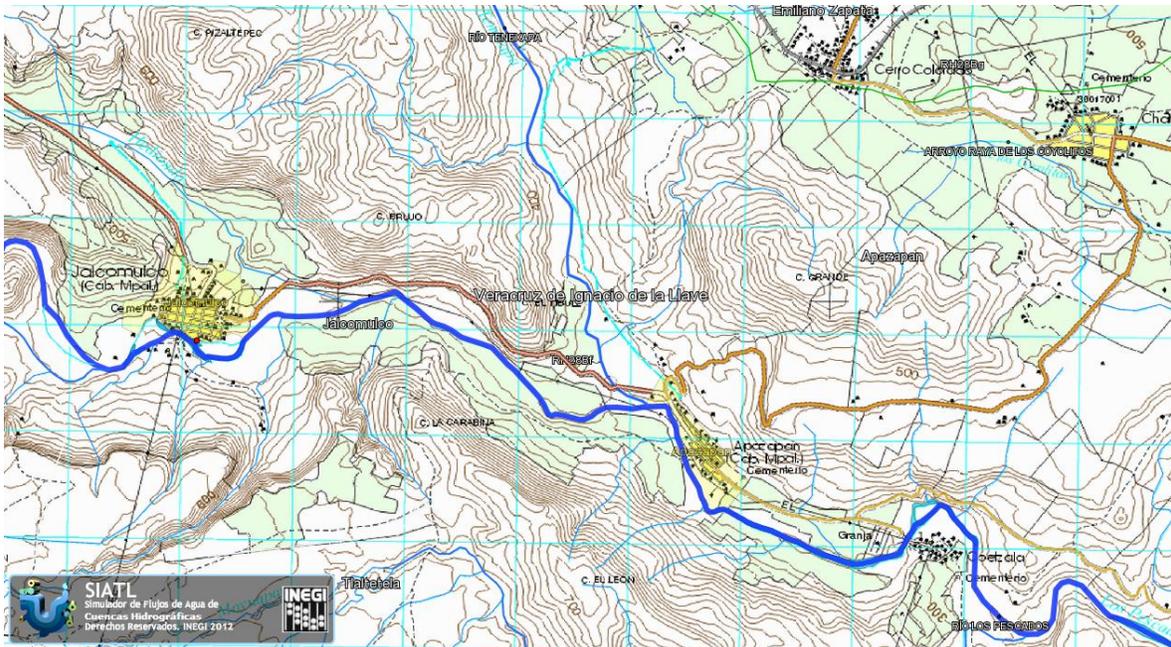


FIGURA 3.2. Imagen extraída de SIATL

3.1.2. Determinación de la carga bruta

La carga bruta H_b , en m, es la distancia vertical que existe entre el nivel del agua en la toma y en el canal de descarga. Para obtener la carga bruta con la mejor precisión posible, se utilizó la cartografía vectorial 1:50,000. Para obtener el nivel de la superficie libre del agua en la toma (NSLT), a partir de la ubicación de la captación se obtiene el nivel del terreno y se agrega la altura de la obra de contención, con la ubicación de la casa de máquinas se propone el nivel en la descarga (NDES). En la figura 3.3 se muestran las cargas hidráulicas definidas en un aprovechamiento hidroeléctrico.

$$H_b = NSLT - NDES$$

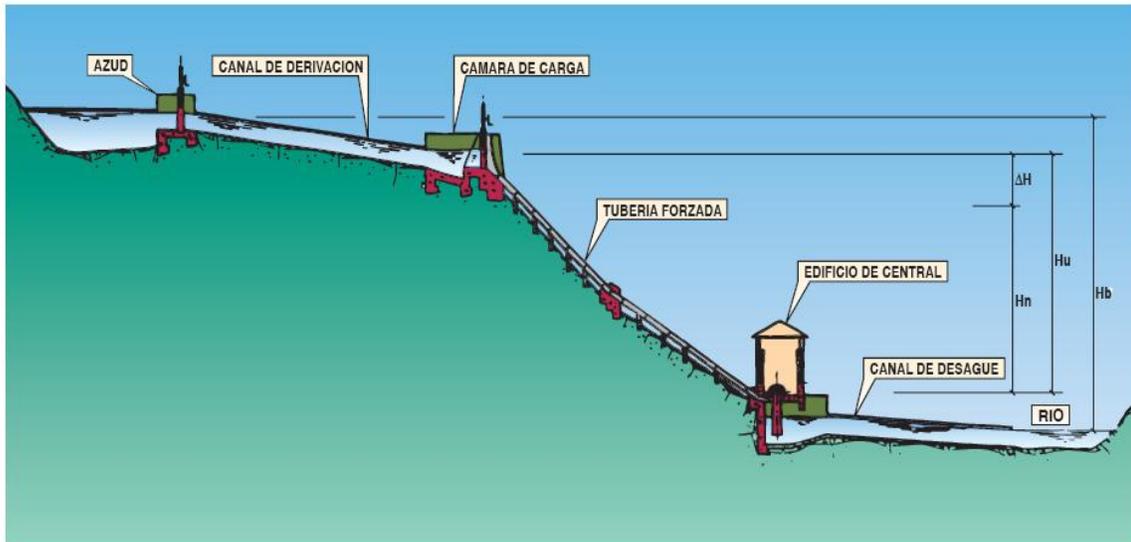


FIGURA 3.3. Cargas hidráulicas en un equipamiento hidroeléctrico

3.1.3. Sitios identificados

A partir de las cartas topográficas con clasificación del INEGI E14B26, E14B27, E14B36, E14B37, E14B38, E14B46, E14B47, E14B48 y E14B49; se identificaron los proyectos mostrados en la tabla 3.1.

3. DESARROLLO DEL ESTUDIO

TABLA 3.1. Proyectos identificados en la cuenca, La Antigua

No	Proyecto	Captación		Desfogue		H_b [m]
		Long.	Lat.	Long.	Lat.	
1	Paso limón	96°41'17.36"O	19°18'33.92"N	96°39'30.21"O	19°18'54.67"N	32.0
2	Coetzala	96°43'50.99"O	19°19'25.05"N	96°42'10.57"O	19°18'37.67"N	25.0
3	Apazapan	96°45'15.63"O	19°19'54.97"N	96°44'4.08"O	19°19'33.16"N	23.0
4	Jalcomulco	96°47'41.40"O	19°20'9.96"N	96°45'57.75"O	19°19'52.58"N	42.0
5	El Vado	96°50'13.86"O	19°22'3.28"N	96°48'29.05"O	19°21'20.15"N	46.0
6	El Campanario	96°51'21.96"O	19°22'3.51"N	96°50'25.09"O	19°22'5.11"N	31.0
7	Tuzamapan	96°53'3.07"O	19°22'55.80"N	96°51'13.77"O	19°22'41.68"N	81.0
8	Llano Grande	96°53'27.42"O	19°24'14.21"N	96°53'8.60"O	19°23'5.92"N	130.0
9	Mahuixtlán	96°54'3.65"O	19°25'24.60"N	96°53'29.35"O	19°24'16.85"N	174.0
10	Isleta	96°55'11.24"O	19°22'57.85"N	96°53'46.53"O	19°22'15.97"N	120.0
11	Teocelo	96°59'29.69"O	19°24'9.23"N	96°57'53.01"O	19°23'55.60"N	100.0
12	La Laguna	96°52'52.01"O	19°20'57.95"N	96°51'33.37"O	19°21'37.05"N	49.0
13	El Encanto	96°54'0.80"O	19°20'8.21"N	96°52'53.06"O	19°20'50.39"N	47.0
14	Tlaltetela	96°55'17.59"O	19°18'53.09"N	96°54'6.64"O	19°19'54.91"N	40.0
15	Monte Chico	96°56'48.13"O	19°17'51.76"N	96°55'31.11"O	19°18'33.18"N	52.0
16	Amatitla	96°58'11.40"O	19°17'26.12"N	96°57'0.27"O	19°17'50.71"N	47.0
17	Villa Nueva	97° 2'33.16"O	19°19'19.18"N	97° 1'21.03"O	19°18'54.00"N	53.0
18	Camujapan	97° 3'39.14"O	19°18'34.09"N	97° 2'47.33"O	19°19'10.72"N	57.0
19	Barranca Grande	97° 3'48.34"O	19°19'8.52"N	97° 2'44.26"O	19°19'14.70"N	179.0
20	Palma Sola	97° 7'3.39"O	19°16'52.79"N	97° 5'19.51"O	19°17'23.77"N	185.0
21	Quimixtlán	97° 9'56.25"O	19°15'2.01"N	97° 8'55.19"O	19°15'17.51"N	160.0

3.2. EVALUACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

3.2.1. Análisis de disponibilidad de agua

En la determinación de la disponibilidad de agua, es necesario analizar el régimen del escurrimiento en las diferentes estaciones de aforo. El régimen de los escurrimientos se obtuvo de acuerdo con la estadística descriptiva y sus diferentes estadísticos muestrales.

El análisis estadístico consistió esencialmente en recopilar información hidrométrica, ordenarla, resumirla y analizarla. Para esto se analizaron los registros de los gastos medios diarios; lo que ha permitido un conocimiento detallado de escurrimiento disponible. La información contenida en los registros de cada estación hidrométrica, descargada del BANDAS, se importó a hojas de cálculo y fue organizada mediante matrices básicas, para posteriormente ser procesadas con el objeto de obtener sus estadísticos muestrales; tendencia central (media, mediana y moda), dispersión (varianza y desviación estándar) y posición (cuartiles). Entonces se trata de obtener los valores representativos para cada mes a partir de cada registro hidrométrico analizado.

Estaciones hidrométricas analizadas

Se recopiló la información hidrométrica disponible dentro de la cuenca del río La Antigua, también se obtuvieron las áreas de aportación de cada estación hidrométrica utilizando las cartas topográficas vectoriales. En la tabla 3.2 se presentan las estaciones hidrométricas analizadas y algunos de sus datos más importantes, y en la figura 3.4 la ubicación de las estaciones hidrométricas.

3. DESARROLLO DEL ESTUDIO

TABLA 3.2. Estaciones hidrométricas analizadas en la cuenca del río La Antigua

Clave	Nombre de la estación	Periodo de registros	Corriente aforada	Área aforada [km ²]	Coordenadas	
					Latitud	Longitud
28003	Cardel	1951-2011	Río La Antigua	2,167.43	19°21'42" N	96°22'24" O
28125	Carrizal	1966-2011	Río La Antigua	1,568.05	19°19'12" N	96°37'36" O
28133	Amatitla	1962-2003	Río Los Pescados	616.69	19°19'12" N	96°55'18" O
28134	Jalcomulco	1960-2008	Río Los Pescados	1,431.95	19°19'54" N	96°45'18" O

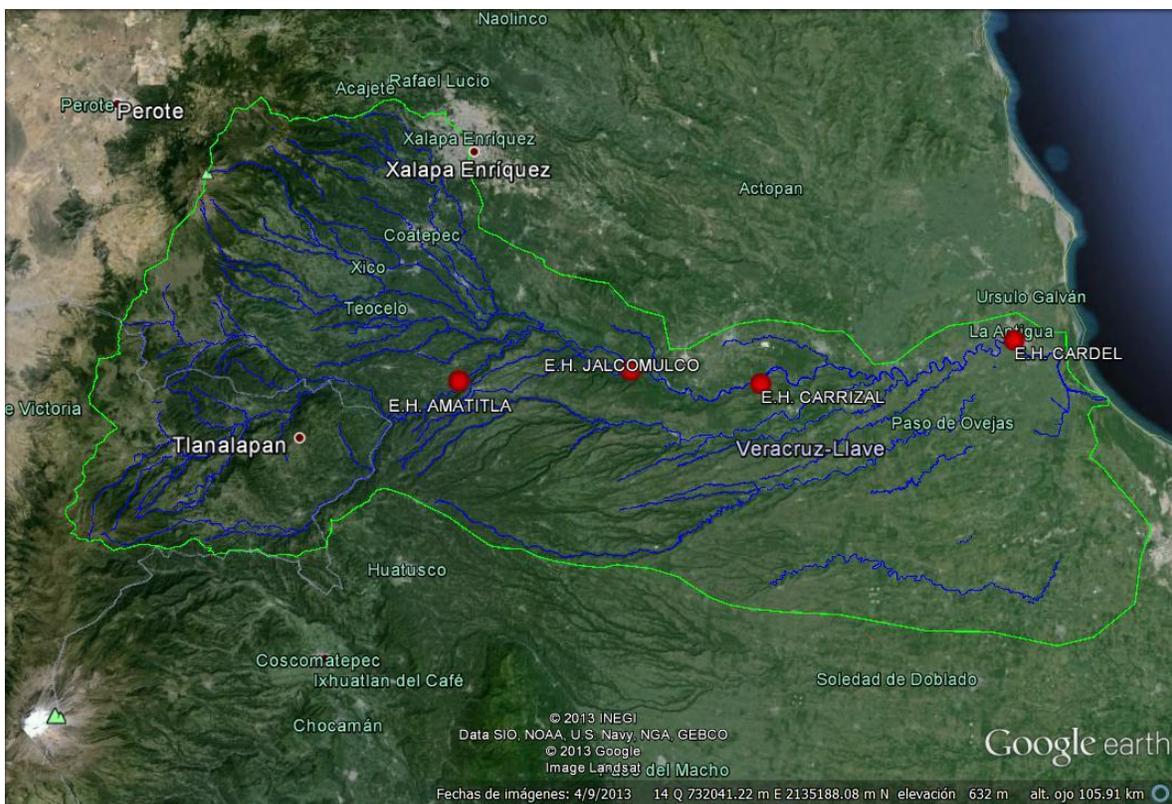


FIGURA 3.4. Ubicación de las estaciones hidrométricas

Estadísticos muestrales de los registros hidrométricos

A partir del registro histórico de los gastos medios diarios, en m^3/s , de cada estación, se obtuvieron sus estadísticos muestrales con el complemento MegaStat 9.1 de Microsoft Excel. En la revisión de los registros históricos de las estaciones hidrométricas, se ha observado lo siguiente: la estación Carrizal inicia sus mediciones en junio de 1951; la estación Amatitla inicia sus mediciones en junio de 1962 y, los registros correspondiente a los meses enero febrero y marzo de 1979 no existen; la estación Jalcomulco inicia sus mediciones en agosto de 1962 y, no se cuenta con los registros de los años 2006 y 2007. En los casos anteriores de registros faltantes, no se tomaron en cuenta para la obtención de los estadísticos muestrales, pues, esta omisión no tiene complicación alguna.

De analizar los resultados de la estadística descriptiva y sus estadísticos muestrales, resulta como mejor propuesta de disponibilidad de agua, en cada sección de aforo, el valor correspondiente a la media de cada mes. Esto es, la media de cada mes será considerada como el gasto que escurre en la sección de aforo. En la tablas 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 se muestran los resultados de la estadística descriptiva de cada estación hidrométrica analizada.

TABLA 3.3. Estadística descriptiva de los gastos medios diarios, en m^3/s , en la estación hidrométrica Cardel

<i>Estación Cardel</i>	<i>ENE</i>	<i>FEB</i>	<i>MAR</i>	<i>ABR</i>	<i>MAY</i>	<i>JUN</i>	<i>JUL</i>	<i>AGO</i>	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DIC</i>
Datos	1,891	1,723	1,891	1,830	1,891	1,830	1,891	1,891	1,830	1,891	1,830	1,891
Media	21.48	15.96	11.84	9.10	12.06	71.43	115.29	101.71	139.86	92.75	49.38	30.57
Varianza	196.81	149.08	102.04	59.53	151.78	8,650.27	12,431.36	5,454.47	13,175.95	3,419.51	594.41	193.94
Desviación estándar	14.03	12.21	10.10	7.72	12.32	93.01	111.50	73.85	114.79	58.48	24.38	13.93
Mínimo	1.16	2.49	1.30	0.62	0.31	0.41	15.40	22.35	29.61	27.10	12.51	10.00
Máximo	272.22	152.95	90.96	99.32	131.22	1,110.57	1,768.10	1,260.78	2,171.80	831.14	507.17	107.66
Rango	271.06	150.47	89.67	98.69	130.91	1,110.16	1,752.70	1,238.44	2,142.20	804.04	494.66	97.66
1er Cuartil	14.44	10.20	6.70	4.31	4.68	16.20	56.93	61.89	81.80	59.69	34.67	22.16
Mediana	18.36	12.70	9.52	7.15	8.49	42.77	85.89	83.97	109.41	77.39	44.80	27.83
3rd Cuartil	24.22	17.47	13.85	11.18	15.73	89.35	133.50	116.56	162.86	106.05	56.72	35.77
Rango intercuartil	9.79	7.28	7.15	6.88	11.05	73.15	76.57	54.66	81.06	46.36	22.04	13.61
Moda	18.77	9.49	8.20	8.30	3.72	27.03	120.91	78.00	78.00	40.90	106.60	35.00

3. DESARROLLO DEL ESTUDIO

TABLA 3.4. Estadística descriptiva de los gastos medios diarios, en m³/s, en la estación hidrométrica Carrizal

<i>Estación Carrizal</i>	<i>ENE</i>	<i>FEB</i>	<i>MAR</i>	<i>ABR</i>	<i>MAY</i>	<i>JUN</i>	<i>JUL</i>	<i>AGO</i>	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DIC</i>
Datos	1,395	1,271	1,395	1,350	1,395	1,359	1,426	1,426	1,380	1,426	1,380	1,426
Media	23.68	21.46	18.79	18.60	20.36	51.88	77.39	77.14	109.03	69.99	39.07	27.75
Varianza	37.01	35.55	14.98	152.63	80.66	2,570.05	4,999.97	2,608.15	7,919.53	2,070.31	405.69	32.25
Desviación estándar	6.08	5.96	3.87	12.35	8.98	50.70	70.71	51.07	88.99	45.50	20.14	5.68
Mínimo	12.52	10.86	7.96	7.30	7.11	10.35	10.81	8.42	24.60	20.29	12.77	14.34
Máximo	143.54	106.31	51.55	409.85	137.70	552.72	985.66	740.18	1,560.21	619.07	183.75	62.90
Rango	131.02	95.44	43.59	402.55	130.59	542.37	974.85	731.75	1,535.62	598.78	170.98	48.56
1er Cuartil	20.79	18.53	16.65	15.35	15.26	22.40	41.22	46.76	63.77	45.39	29.92	24.02
Mediana	23.22	20.82	18.46	17.21	18.09	34.72	57.54	63.46	88.29	58.22	34.80	27.14
3rd Cuartil	25.65	23.04	20.43	19.68	22.66	62.54	89.15	89.65	127.90	81.25	41.66	30.61
Rango intercuartil	4.86	4.51	3.78	4.33	7.39	40.14	47.93	42.88	64.13	35.86	11.74	6.59
Moda	19.18	21.20	17.40	16.70	15.26	14.23	45.82	52.80	94.34	82.80	182.00	27.78

TABLA 3.5. Estadística descriptiva de los gastos medios diarios, en m³/s, en la estación hidrométrica Amatitla

<i>Estación Amatitla</i>	<i>ENE</i>	<i>FEB</i>	<i>MAR</i>	<i>ABR</i>	<i>MAY</i>	<i>JUN</i>	<i>JUL</i>	<i>AGO</i>	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DIC</i>
Datos	1,240	1,130	1,240	1,230	1,271	1,260	1,302	1,302	1,260	1,302	1,259	1,302
Media	16.15	15.03	14.12	13.63	13.92	23.34	35.40	39.89	48.81	35.61	23.20	18.70
Varianza	15.35	13.88	13.12	12.20	13.44	280.50	780.05	530.18	827.74	212.68	38.66	20.58
Desviación estándar	3.92	3.73	3.62	3.49	3.67	16.75	27.93	23.03	28.77	14.58	6.22	4.54
Mínimo	9.00	1.30	1.20	1.60	7.18	7.28	2.70	2.50	8.03	13.30	8.40	8.40
Máximo	27.50	30.40	25.30	23.00	34.60	179.00	647.00	289.00	332.00	165.00	60.60	31.60
Rango	18.50	29.10	24.10	21.40	27.42	171.72	644.30	286.50	323.97	151.70	52.20	23.20
1er Cuartil	13.00	12.00	11.40	10.90	10.90	13.90	22.60	27.00	32.60	25.30	18.55	15.30
Mediana	15.10	14.00	12.75	12.30	13.50	18.40	29.30	33.40	41.80	33.60	22.30	18.30
3rd Cuartil	19.00	18.30	17.10	16.30	16.30	26.50	39.90	45.70	56.20	41.30	27.40	22.40
Rango intercuartil	6.00	6.30	5.70	5.40	5.40	12.60	17.30	18.70	23.60	16.00	8.85	7.10
Moda	15.00	12.50	11.60	12.00	14.60	14.40	29.30	29.30	33.70	19.40	20.60	23.40

TABLA 3.6. Estadística descriptiva de los gastos medios diarios, en m³/s, en la estación hidrométrica Jalcomulco

<i>Estación Jalcomulco</i>	<i>ENE</i>	<i>FEB</i>	<i>MAR</i>	<i>ABR</i>	<i>MAY</i>	<i>JUN</i>	<i>JUL</i>	<i>AGO</i>	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DIC</i>
Datos	1,426	1,299	1,426	1,380	1,426	1,380	1,426	1,457	1,410	1,457	1,410	1,457
Media	26.18	23.56	21.15	20.15	22.28	54.73	80.98	85.61	108.99	74.54	43.06	31.68
Varianza	37.61	33.90	19.44	23.23	69.06	2,413.50	3,838.00	2,527.12	6,131.39	1,282.95	157.58	40.59
Desviación estándar	6.13	5.82	4.41	4.82	8.31	49.13	61.95	50.27	78.30	35.82	12.55	6.37
Mínimo	17.10	15.10	13.60	11.60	10.40	11.20	20.40	24.40	29.70	8.10	23.40	17.40
Máximo	121.00	117.00	49.90	48.00	82.70	806.00	1,016.00	569.00	1,357.00	405.00	137.00	78.40
Rango	103.90	101.90	36.30	36.40	72.30	794.80	995.60	544.60	1,327.30	396.90	113.60	61.00
1er Cuartil	22.90	20.16	18.20	16.60	16.93	23.70	47.60	54.20	69.50	52.40	35.00	28.00
Mediana	25.70	23.00	20.65	19.30	20.30	39.00	64.90	72.52	91.30	65.09	40.80	30.90
3rd Cuartil	28.40	26.00	23.50	22.70	25.00	67.73	94.55	97.00	125.00	86.60	48.40	34.90
Rango intercuartil	5.50	5.84	5.30	6.10	8.08	44.03	46.95	42.80	55.50	34.20	13.40	6.90
Moda	26.80	21.70	21.30	18.20	14.80	24.20	113.00	102.00	103.00	58.00	39.80	32.00

3.2.2. Gasto equipado

El análisis del gasto equipado puede ser considerado como el más importante desde el punto de vista del dimensionamiento de las obras civiles y de los equipos electromecánicos. El resultado buscado en este análisis es el gasto con el cual operará la central hidroeléctrica.

Para el análisis del gasto equipado se propone el método de la curva de permanencia, por lo que se utilizaron todos los datos correspondientes a los gastos medios diarios de las estaciones de aforo.

Curva de permanencia

Para obtener la curva de permanencia, también llamada curva de duración, las variables hidrométricas se ordenan en forma decreciente de acuerdo a su magnitud y se calcula el porcentaje de tiempo durante el cual fueron igualadas o excedidas (probabilidad de ocurrencia o permanencia). Para graficar la curva, el eje de las abscisas corresponde a la

probabilidad de ocurrencia, y el eje de las ordenadas a la magnitud de la variable hidrométrica.

La expresión utilizada para calcular la probabilidad de permanencia es

$$P = \frac{i}{n+1}$$

donde

P probabilidad de permanencia de la variable hidrométrica de orden i .

i orden o posición de la variable hidrométrica.

n total de datos de la muestra.

Para selección del gasto equipado se propone una probabilidad de permanencia de 95 por ciento, esto con el fin de tener una energía firme, pues dentro de los objetivos de este estudio se proponen sistemas aislados y resulta necesario asegurar que la central hidroeléctrica opere la mayor parte del tiempo, excepto en eventos extraordinarios o extremos. En las siguientes tablas y figuras se presenta la permanencia de gastos en las estaciones de aforo.

TABLA 3.7. Permanencia de gastos en la estación Cardel

	Estación Cardel									
Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Gasto [m ³ /s]	127.10	87.13	64.62	46.25	31.67	21.69	15.22	10.55	6.68	4.09

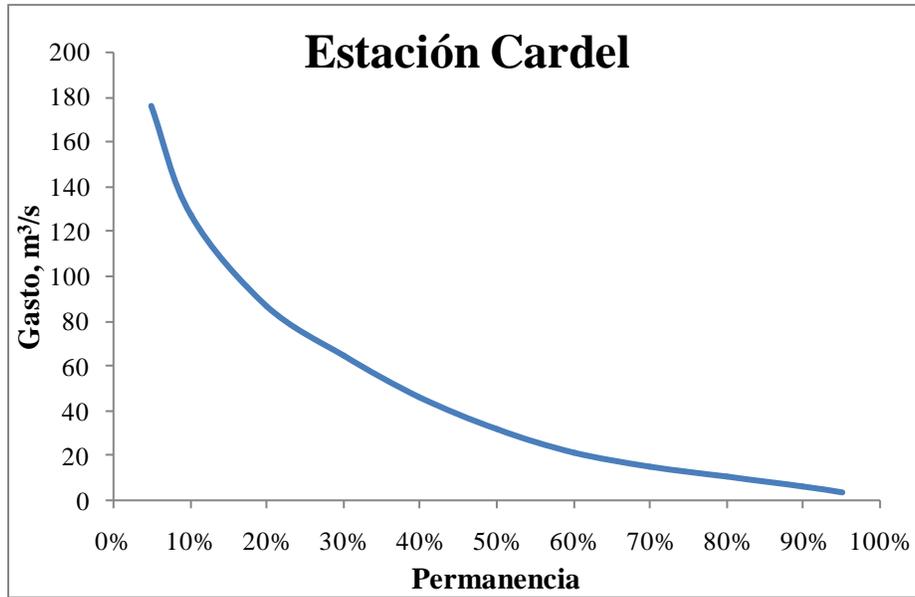


FIGURA 3.5. Curva de permanencia de gastos en la estación Cardel

TABLA 3.8. Permanencia de gastos en la estación Carrizal

Estación Carrizal	
Permanencia [%]	10 20 30 40 50 60 70 80 90 95
Gasto [m³/s]	95.10 64.24 47.66 36.00 28.87 24.62 21.56 18.77 16.31 14.71

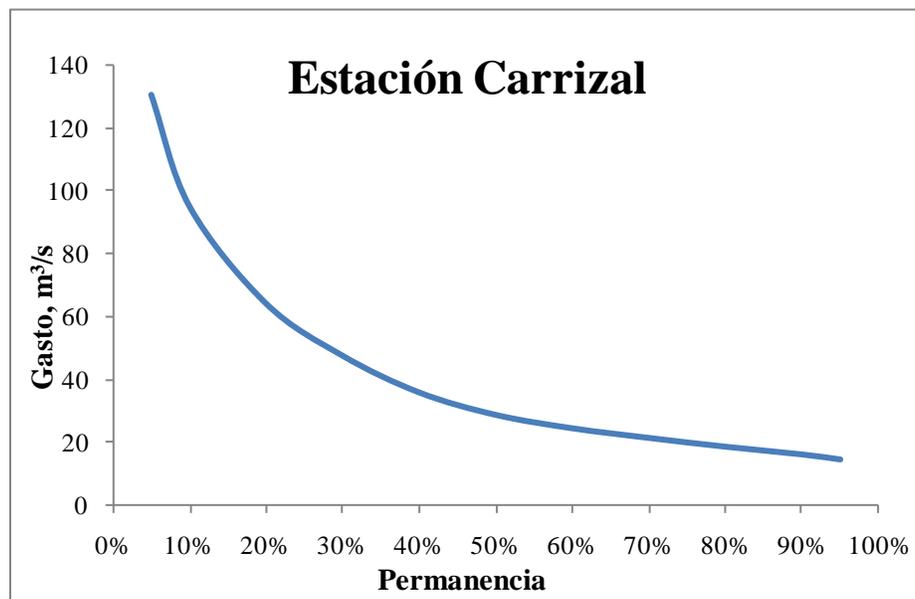


FIGURA 3.6. Curva de permanencia de gastos en la estación Carrizal

TABLA 3.9. Permanencia de gastos en la estación Amatitla

		Estación Amatitla									
Permanencia [%]		10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Gasto [m^3/s]		44.40	33.10	26.80	22.30	19.50	17.10	15.10	12.80	11.20	10.30

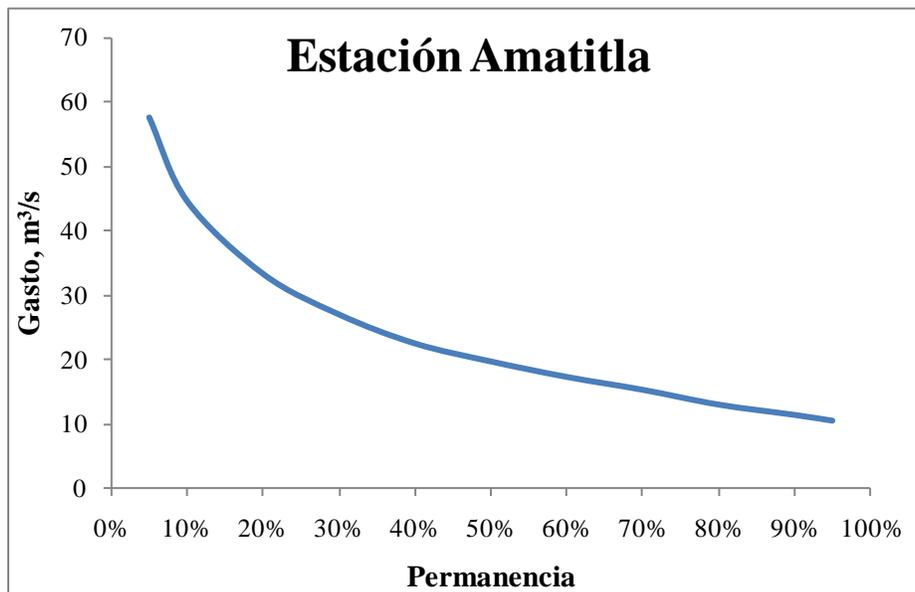


FIGURA 3.7. Curva de permanencia de gastos en la estación Amatitla

TABLA 3.10. Permanencia de gastos en la estación Jalcomulco

		Estación Jalcomulco									
Permanencia [%]		10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Gasto [m^3/s]		99.50	71.00	53.80	41.50	32.70	27.60	24.20	21.10	18.20	16.10

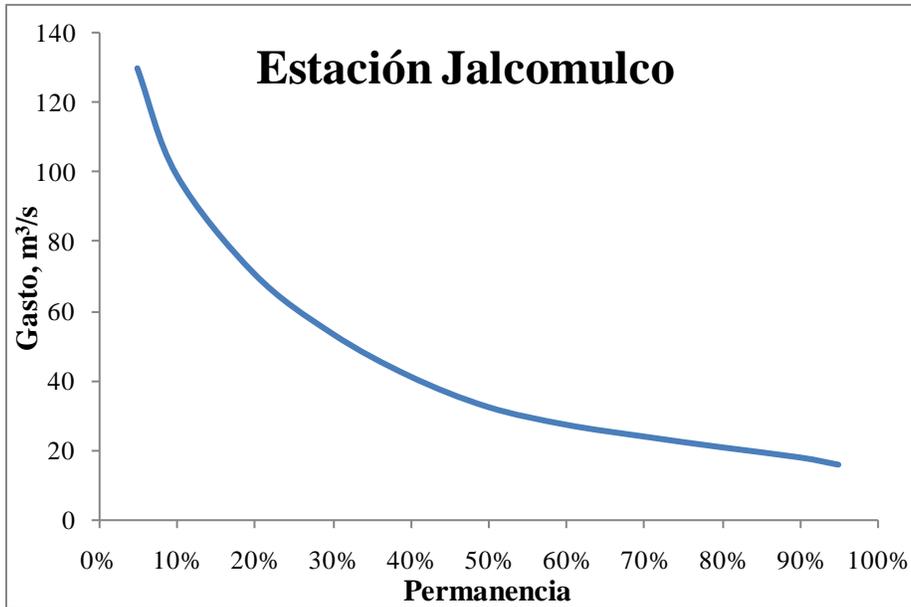


FIGURA 3.8. Curva de permanencia de gastos en la estación Jalcomulco

3.2.3. Ajuste de la disponibilidad del agua y gasto equipado

Se determinó la disponibilidad de agua y gasto equipado en las secciones de aforo, entonces, en la ubicación de los proyectos se deben ajustar estos valores. De acuerdo con la información hidrométrica disponible, se pueden presentar los siguientes casos:

- a) **Existe información hidrométrica en el sitio del proyecto:** por tanto, está definida la disponibilidad de agua y gasto equipado del proyecto.

- b) **Se cuenta con información hidrométrica en la corriente:**

- *Cercana al sitio del proyecto:* En caso de no haber aportaciones por tributarios en el tramo entre la estación hidrométrica y el sitio del proyecto, se tomarán los valores de la estación de aforo.
- *Estación hidrométrica alejada del sitio:* Para este caso, con el área de aportación al sitio de captación y con el área de aforo de la estación, se calcula el factor de ajuste por áreas f_A . Se corrigen el gasto disponible y equipado en la estación hidrométrica por medio del factor de ajuste que relaciona a las áreas.

$$f_A = \frac{A_P}{A_E}$$

donde

A_P área de aportación en la captación del proyecto, en km^2 .

A_E área de aforo de la estación hidrométrica, en km^2 .

$A_P < A_E$.

3.3. ESTUDIO HIDROENERGÉTICO

Las características más importantes en un aprovechamiento de energía hidroeléctrica son la potencia instalada, la potencia media y la generación media anual. También se debe tener en cuenta que existen otros parámetros de caracterización que describen el funcionamiento de dicho aprovechamiento, como son el factor de generación y el factor de planta.

El estudio hidroenergético se encuentra fuertemente relacionado con el de disponibilidad de agua y el de gasto equipado, dado que el primero depende de los otros dos, además un buen análisis de los datos hidrométricos será la base de un buen resultado del estudio hidroenergético.

3.3.1. Potencia Instalada P_{ins}

Es la potencia correspondiente a la capacidad total con que se cuenta en la central hidroeléctrica, esta se obtiene con la siguiente expresión:

$$P_{ins} = 9.81 \eta_G Q_{eq} H_b$$

donde

P_{ins} potencia eléctrica instalada, en kW.

Q_{eq} gasto equipado, en m³/s.

η_G eficiencia global de la central hidroeléctrica.

La eficiencia global de la central hidroeléctrica resulta del producto de las eficiencias hidráulica, mecánica y eléctrica. En la operación de una central hidroeléctrica ocurren pérdidas de energía a través de sus diferentes transformaciones. En el caso de la pérdida de energía hidráulica, esta es debida por el paso del agua en las diferentes estructuras

hidráulicas del aprovechamiento, para esta se propone una eficiencia de 0.92. En la transformación de energía hidráulica a energía mecánica y posteriormente a energía eléctrica, se producen pérdidas principalmente por la fricción y el calor producido en los componentes del conjunto turbina-generator. Se propone una eficiencia mecánica de 0.945 y una eficiencia eléctrica de 0.985. Las eficiencias propuestas para este estudio son las utilizadas por la CFE en los estudios de identificación, las cuales han sido probadas con resultados satisfactorios en este tipo de estudio.

$$\eta_G = \eta_h \eta_{mec} \eta_{elec}$$

$$\eta_G = 0.856$$

donde

η_h eficiencia hidráulica.

η_{mec} eficiencia mecánica.

η_{elec} eficiencia eléctrica.

3.3.2. Unidades Generadoras

Con el fin de tener mejor seguridad energética y maniobrabilidad en la operación de las centrales hidroeléctricas, se propone que la potencia instalada sea proporcionada por dos unidades generadoras de la misma capacidad. También el proponer dos unidades de la misma capacidad puede tener varias ventajas, como las económicas, entre otras. Para cada central hidroeléctrica se proponen dos unidades U1 y U2, como se define enseguida.

$$P_{U1} = 9.81 \eta_G Q_{U1} H_b$$

$$P_{U2} = 9.81 \eta_G Q_{U2} H_b$$

donde

$$Q_{U1} = Q_{U2} = \frac{Q_{eq}}{2}$$

Q_{U1} es el gasto de equipado de la unidad 1, en m³/s.

Q_{U2} es el gasto de equipado de la unidad 2, en m³/s.

3.3.3. Generación media mensual GEN_m

Es aquella que se obtiene de la potencia eléctrica media mensual y el tiempo de operación, en este caso la potencia media mensual es la potencia instalada, esto es debido a los resultados del estudio de evaluación del recurso hídrico.

$$GEN_m = P_{ins} t$$

donde

t es el tiempo en horas que opere la central hidroeléctrica.

3.3.4. Generación media anual GEN_{ma}

Resulta de la suma de la generación media mensual y se expresa

$$GEN_{ma} = \sum_{i=1}^{12} GEN_{mi}$$

donde

GEN_{mi} es la generación eléctrica media mensual y puede ser la de cualquier mes del año.

3.3.5. Factor de generación (F_g) y Factor de consumo específico (F_c)

El Factor de generación se define como la relación que existe entre la energía generada por unidad de volumen de agua utilizada. Al inverso de este factor se le conoce como consumo específico, que se puede interpretar como la cantidad de volumen de agua necesaria para generar una unidad de energía, en este caso, eléctrica. En la generación media mensual, sólo es necesario obtener el volumen medio aprovechado en el mes y el factor de generación asociado, pues el producto de estos dos parámetros dará la cantidad de energía esperada.

El factor de generación se puede dejar expresado en función de la carga hidráulica, y en la siguiente expresión se obtiene en kWh/m³.

$$F_g = \frac{9.81}{3600} H_b \eta_G$$

3.3.6. Factor de Planta

Se define como la razón que existe entre la potencia media y la capacidad instalada.

$$F_p = \frac{\text{Potencia media}}{\text{Capacidad instalada}} = \frac{\text{Generación media}}{\text{Generación máxima posible}}$$

A partir del estudio de evaluación del recurso hídrico se determinó, con la curva de permanencia y la disponibilidad de agua, que el gasto equipado en las centrales hidroeléctricas en la mayor parte del tiempo será superado, por lo que se esperan factores de planta teóricos iguales a la unidad. Lo anterior refleja que los proyectos como sistemas aislados, se espera entren en operación todo el tiempo, por lo cual se puede considerar energía firme en los proyectos.

3.4. SELECCIÓN DE LAS TURBINAS

La correcta selección de las turbinas debe ser una de las preocupaciones fundamentales del diseñador, no sólo por la inversión económica que representa, sino también porque se debe lograr la mayor eficiencia de los equipos para satisfacer las necesidades planteadas. Además la selección de las turbinas corresponde a las características propias del sitio, en este trabajo se propone una selección acorde a este nivel de investigación.

Para selección del tipo de turbina para cada sitio identificado se debe conocer el valor del gasto equipado para cada unidad generadora y la carga bruta disponible para su operación. La selección se lleva a cabo considerando el tipo de turbina que se encuentre mejor

posicionada de acuerdo a los valores de gasto y carga (figura 3.9) evitando estar en los límites de aplicación de un tipo determinado, puede ocurrir que en el punto correspondiente a estos dos valores exista más de un tipo de turbina elegible, en estos casos la elección se realiza tomando en cuenta las ventajas y desventajas que se presentan para el conjunto de obras y condiciones constructivas. La figura 3.9 se ha elaborado integrando los datos de varios fabricantes europeos, y muestra las envolventes operacionales de los tipos de turbina más utilizados, en función de los parámetros H_b y Q_{Ui} .

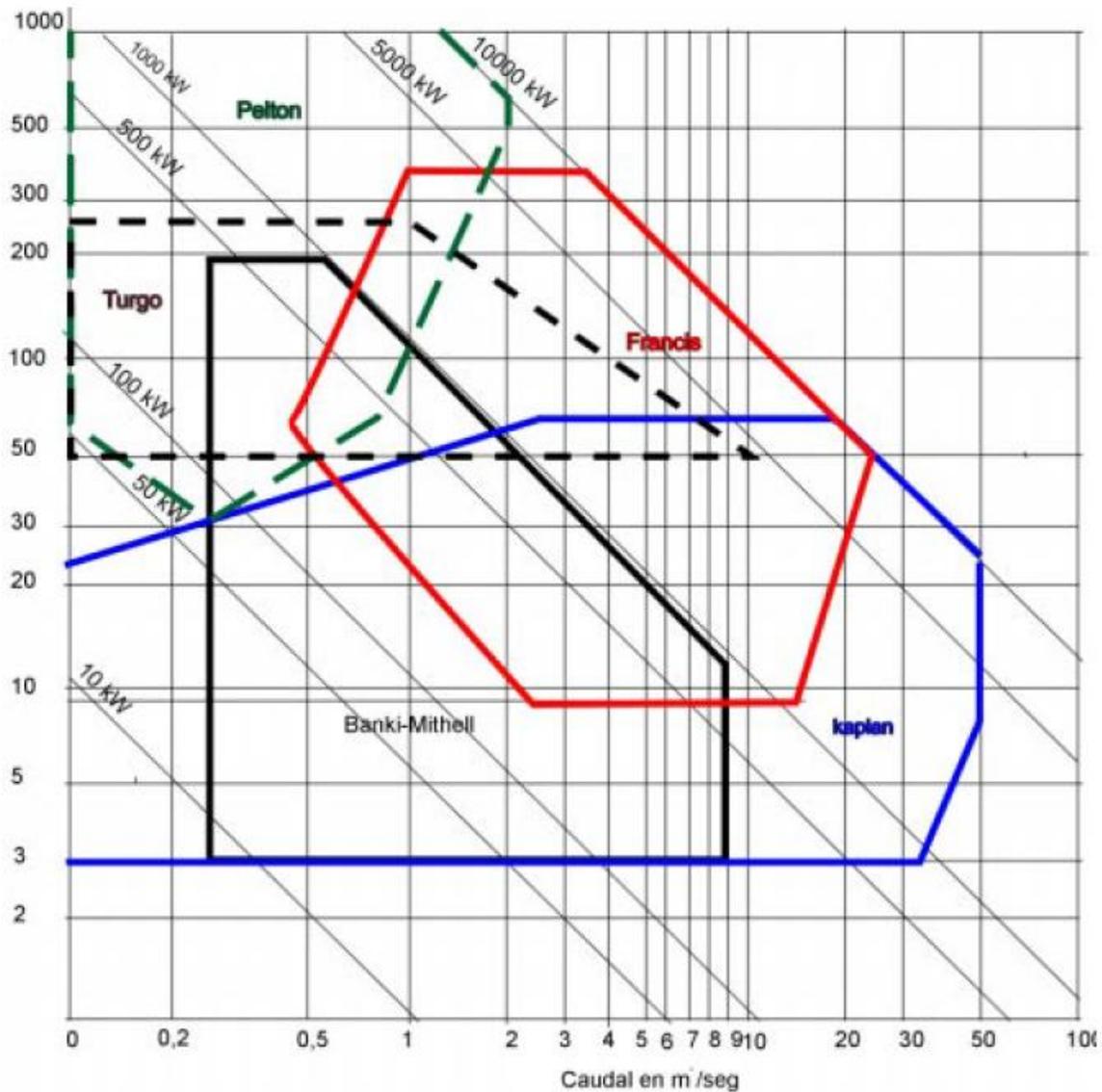


FIGURA 3.9. Selección de Turbinas, según el Criterio del Manual de Pequeña Hidráulica, European Small Hydropower Association

3.5. ESQUEMA CONCEPTUAL DE LOS PROYECTOS

En todo proyecto de ingeniería se debe tener una propuesta inicial que conceptualice el proyecto de manera general. En ese sentido se deben plantear los elementos de dicho proyecto en su forma individual como en conjunto para un correcto funcionamiento. Para este estudio se ha planteado, proyectos de centrales hidroeléctricas a hilo de agua de manera que el esquema conceptual de los proyectos está conformado por las siguientes estructuras; presa derivadora, obra de toma, canal de derivación, tanque de carga, tubería a presión, casa de maquinas y canal de desfogue. En los siguientes puntos se describe la propuesta técnica que debe seguir cada uno de los sitios identificados.

3.5.1. Presa derivadora

La principal función de esta estructura es sobre elevar el nivel del agua lo suficiente para poder ser captada (se ha limitado una altura máxima de 10 m). La propuesta es construir presas de gaviones, y en algunos casos se pueden construir sólo en una parte del cauce, porque el propósito es simplemente desviar el gasto equipado en las centrales hidroeléctricas y de ninguna manera almacenarlo. Esto deja la posibilidad de crear pequeños embalses que sin modificar el régimen del escurrimiento permita la formación de pequeños estanques que puedan ser usados por las comunidades en el entorno del proyecto. Las obras de contención así planteadas presentan también la ventaja de ser reparadas o reconstruidas sin generar problemas económicos importantes.

Las presas de gaviones son estructuras permanentes, flexibles y permeables construidas a base de prismas rectangulares de alambre galvanizado denominados gaviones, los cuales se rellenan de piedra con el objeto de formar el cuerpo que constituye la obra de contención. Algunas de las ventajas de las presas gavión son: presentan una amplia adaptabilidad a

diversas condiciones, ya que son fáciles de construir aun en zonas inundadas; funcionan como presas filtrantes que permiten el flujo normal del agua y la retención de azolves; son flexibles y pueden sufrir deformaciones sin perder eficiencia, debido a que los cajones de gaviones forman una sola estructura tienen mayor resistencia al volteo y al deslizamiento y tienen costos relativamente bajos, en comparación con las presas de mampostería. En la figura 3.10 se muestra una presa de gaviones.



FIGURA 3.10. Presa de gaviones

3.5.2. Obra de toma

Una toma de agua tiene que desviar el caudal requerido para generar la energía, respetando el medio ambiente en que se integra, con la mínima pérdida de carga posible y sea cual sea la altura del tirante de agua en el río. La toma actúa como zona de transición entre un curso de agua y el canal de derivación por donde circula un caudal de agua, que debe estar controlado, tanto en cantidad como en calidad. Su diseño, basado en consideraciones geomorfológicas, hidráulicas, estructurales y económicas, requiere un cuidado especial para evitar problemas de funcionamiento y conservación a todo lo largo de la vida de la central.

El diseño de una toma de agua obedece a tres criterios:

- hidráulicos y estructurales, que son comunes a todas las tomas de agua.
- operativos: control del caudal, eliminación de basuras, deposición de los sedimentos (que varían de toma a toma).
- relacionados con el medio ambiente: barreras para impedir el paso de peces, que son característicos de cada proyecto

Se propone como obra de toma en los diferentes sitios identificados la *obra de toma directa*. Se propone construir la obra de toma como un elemento independiente de la obra de contención, pero aprovechando el remanso que genera dicha estructura. En la figura 3.11 se muestra la estructura propuesta.

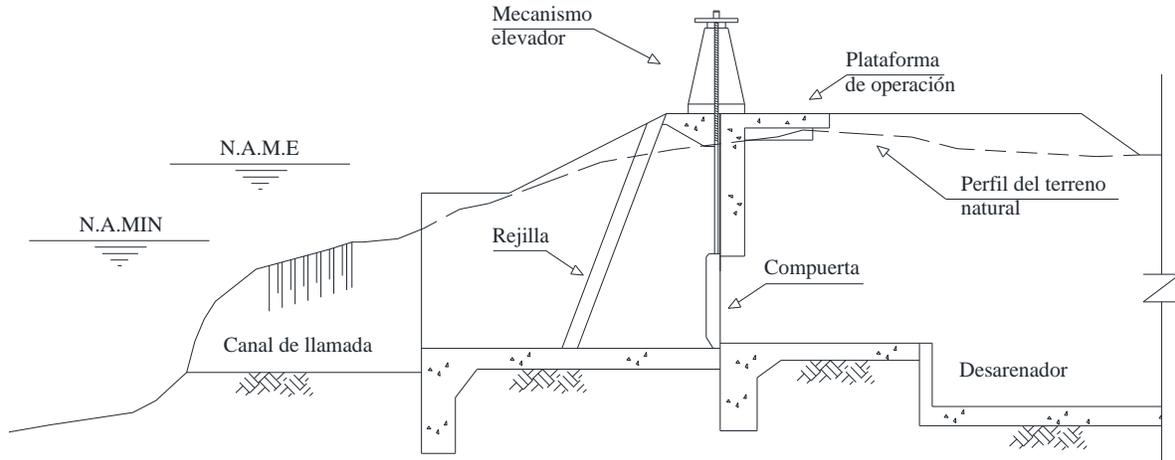


FIGURA 3.11. Perfil de la obra de toma directa

3.5.3. Canal de derivación

Es la conducción que transporta al agua, desde la toma hasta la central o un punto intermedio, como puede ser el tanque de carga o pozo de oscilación; esto se puede lograr mediante; canal tubería o túnel. Dependiendo de su longitud puede haber varias compuertas o accesorios para limpieza y vaciado, en caso necesario. Al final del canal, antes del tanque de carga, suele instalarse una reja de finos con su correspondiente máquina limpiarrejas, así como una compuerta de seguridad.

En los proyecto se busca derivar el agua mediante canales abiertos, los cuales tendrán características propias de cada sitio y del gasto de diseño, en seguida se plantean algunos puntos relevantes en la conceptualización del canal de derivación.

El caudal que transita por el canal es función de su sección transversal, su pendiente y su rugosidad, entonces se debe buscar la combinación de estas variables que satisfagan las respuestas a las solicitantes de funcionamiento, operación y mantenimiento de esta obra. La sección transversal generalmente está supeditada a las condiciones topográficas del sitio y

la estabilidad de los materiales donde se construye el canal, también es claro la necesidad de un bordo libre el cual influye en la sección transversal. La pendiente tiene gran importancia, pues se tiene que evitar pendientes fuertes para no tener pérdidas de carga geodésica importantes, además influye en el arrastre o no de sedimentos que debe ser un tema de importancia en las etapas posteriores de investigación. En el caso de la rugosidad tiene que ver con el acabado de la sección transversal y las condiciones geológicas del trazo del canal, pues en algunos casos es necesario el revestimiento del canal.

Como propuesta para el canal de derivación se propone lo siguiente:

- El canal se debe ajustar lo mejor posible a la topografía del terreno para evitar pendientes fuertes.
- Para la geometría del canal se propone secciones rectangulares o trapeciales, pues presentan ventajas constructivas y económicas.
- Se recomienda revestimiento sólo en tramos donde se requiera y si sólo es necesario impermeabilizar, utilizar mampostería con materiales locales.
- Los muros de encauce deberán ser construidos a base de mampostería con materiales locales.
- El canal, que se ve obligado a seguir prácticamente la curva de nivel para no perder altura, puede encontrarse con obstáculos que tendrá que salvar, para lo cual se propone prolongar el canal mediante una pieza de igual pendiente y sección global, apoyada en pilares intermedios o en una viga construida al efecto (puente-canal).

En las figuras 3.12 y 3.13, se presenta las secciones transversales propuestas en el canal de derivación y un puente-canal en tubería de acero.

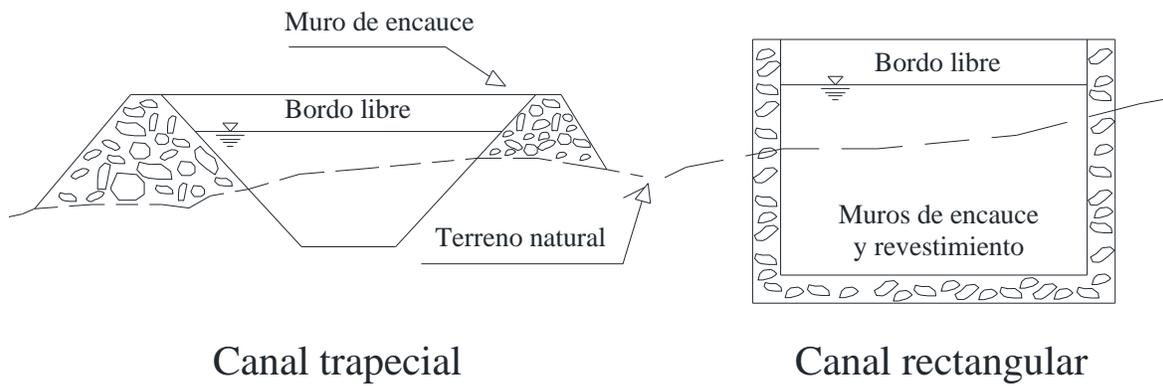


FIGURA 3.12. Secciones propuestas para el canal a cielo abierto

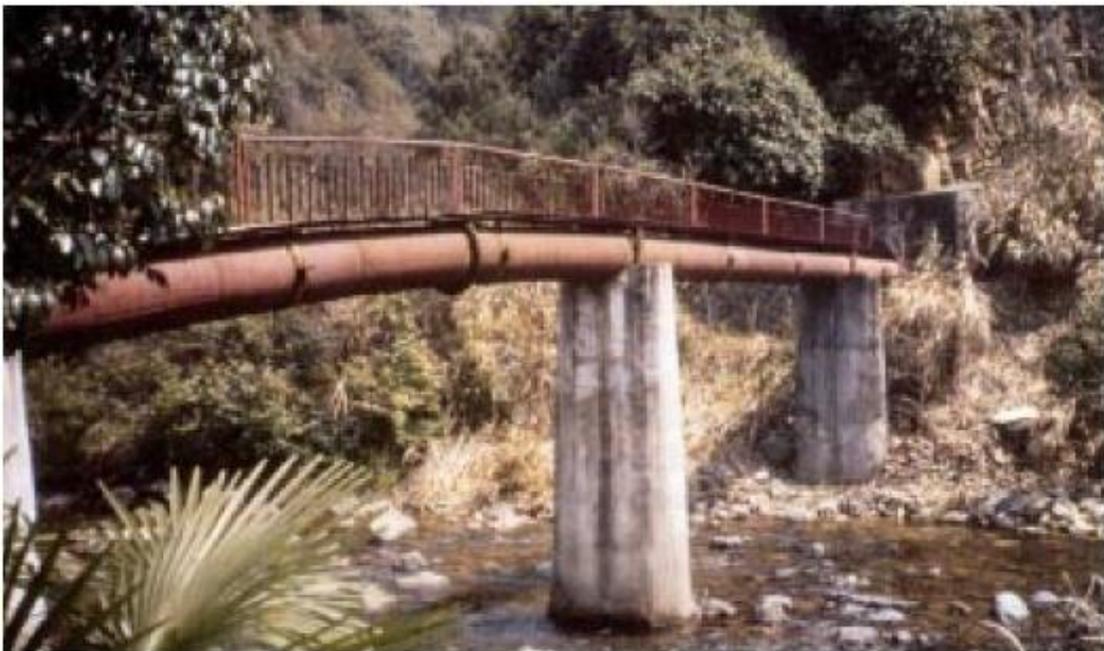


FIGURA 3.13. Puente-canal en tubería de acero

3.5.4. Tanque de carga

Estructura que tiene la función de distribuir uniformemente el gasto transportado por el canal a cielo abierto hasta la tubería de alta presión. La velocidad del agua en esta estructura favorece a la sedimentación del material que todavía transporta el agua en suspensión. Se utiliza para evitar sobrepresiones en la tubería o en los álabes de las turbinas. Consiste en un depósito situado al final de la conducción de derivación del que parte la tubería a presión. La presión en el agua se manifestará en un incremento en la columna dentro del tanque, y si existiera una disminución de presión, la columna de agua en el tanque descendería. A éstas sobrepresiones se les conoce como golpe de ariete.

El volumen o capacidad del tanque se diseña generalmente para una regulación horaria, aunque pudiera dimensionarse para una regulación diaria. Esta estructura está integrada por: tanque regulador, vertedor de excedencias, desfogue de fondo y obra de toma. La toma está equipada con canal de llamada, rejillas, transición de entrada, estructura de control con compuertas o válvulas y transición de descarga hacia la tubería de alta presión.

Otro punto importante en el diseño del tanque de carga es la sumergencia en la toma, pues es necesario tener una sumergencia adecuada en la bocatoma para evitar la entrada de aire a la tubería de acero que puede llegar a afectar a los equipos turbogeneradores.

El tanque de carga en los diferentes proyectos se plantea con la superficie del agua expuesta y cumpliendo con los requerimientos antes mencionados, lo que depende de las características particulares de cada proyecto, pero en general se pretende que el tanque quede alojado en el terreno natural, con muros apoyados sobre contrafuertes, los cuales pueden ser de concreto armado o mampostería, según los requerimientos técnicos.

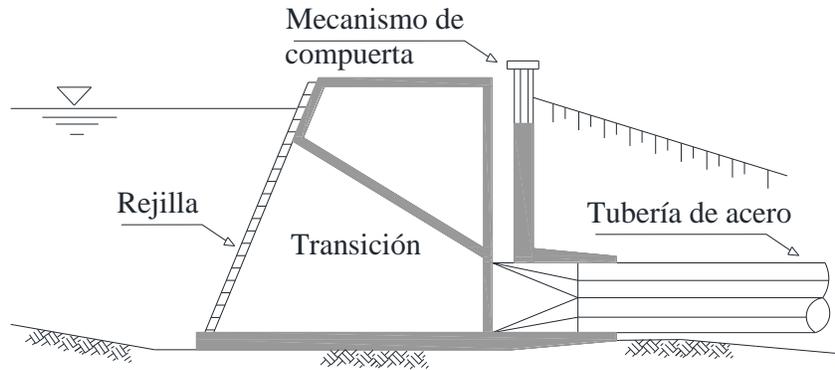


Figura 3.14 Esquema de la toma en el tanque de carga.

3.5.5. Tubería a presión

Transportar un cierto gasto (este es el objetivo de las tuberías forzadas) desde el tanque de carga hasta la casa de máquinas. Las tuberías forzadas pueden instalarse sobre o debajo del terreno, según sea la naturaleza de éste, el material utilizado para la tubería, la temperatura ambiente y las exigencias medioambientales del entorno.

En general se propone una tubería de acero por unidad generadora, las cuales serán instaladas sobre o debajo del terreno. En caso de haber terrenos poco consistentes la instalación de las tuberías será hincada (enterrada) y en terrenos rocosos será sobre el terreno.

Para la instalación de la tubería enterrada la arena y la grava que rodean a la tubería, constituyen un buen aislante, lo que permitirá eliminar un buen número de juntas de dilatación y de bloques de anclaje. La tubería enterrada, debe ser previamente pintada y protegida exteriormente mediante, por ejemplo, una cinta enrollada que garantice su resistencia a la corrosión. Si se hace así y la cinta no sufre daños durante el montaje, la tubería necesitará un mantenimiento mínimo.

En la tubería forzada instalada sobre el terreno, las variaciones de temperatura son especialmente importantes cuando la tubería se vacía para proceder a su reparación o mantenimiento. En estos casos la tubería está sometida a dilataciones y contracciones, por lo cual, deberá contar con juntas de dilatación, bloques de anclaje y apoyos simples. En general la tubería forzada, se conciben como una serie de tramos rectos, simplemente apoyados en unos pilares, y anclados sólidamente en cada una de sus extremidades, que en general coinciden con cambios de dirección. Entre cada dos anclajes consecutivos se intercala una junta de dilatación.

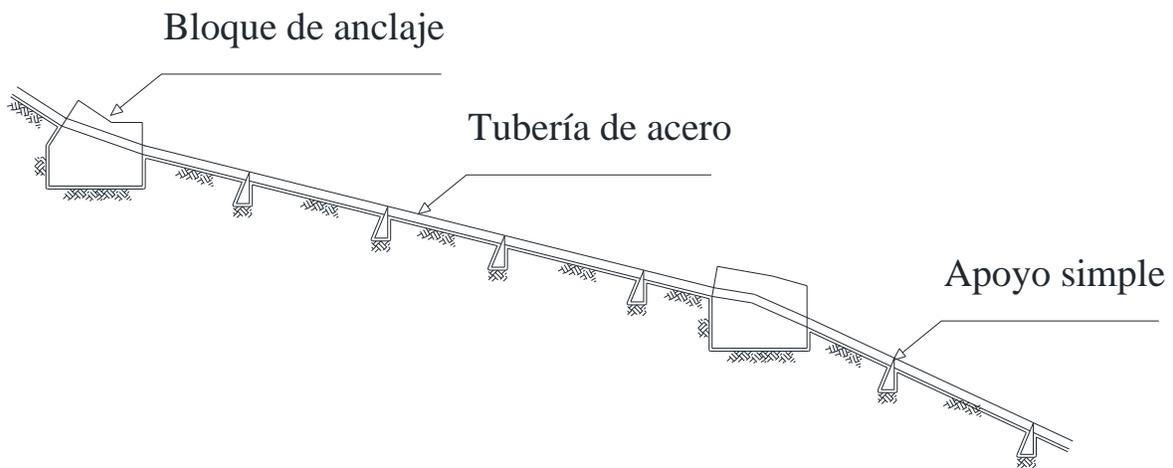


Figura 3.15 Esquema de tubería de acero instalada sobre el terreno

3.5.6. Casa de máquinas

En esta estructura se localizan las turbinas, generadores, tubos de aspiración, válvulas auxiliares, grúa, compuertas en el desfogue, entre otros; además debe contar con una plataforma de montaje y reparación.

Para el esquema de la casa de máquinas, se debe proponer sus dimensiones preliminares de ancho y largo, siempre teniendo en cuenta los elementos que la integran. Para proponer sus

dimensiones preliminares se tomaron en cuenta fichas técnicas de otros proyectos en función de su potencia instalada. La casa de maquinas de los proyectos o sitios identificados, se ha concebido como casa de maquinas de tipo exteriores y siguiendo la arquitectura local, por lo cual, la mayor parte de los materiales empleados para su construcción, son los disponibles en las zonas aledañas al proyecto.



Figura 3.16 Casa de maquinas en una mini-central hidroeléctrica

3.5.7. Canal de desfogue

Después de pasar por la turbina, el agua tiene que ser devuelta al río a través de un canal, generalmente corto, conocido como canal de desfogue o de descarga. Las turbinas de acción pueden llegar a tener velocidades de salida muy elevadas, por lo que habrá que

proteger el canal para que su erosión no ponga en peligro la casa de máquinas. Hay que prever también que, incluso en los períodos de avenidas, el nivel del agua en el canal nunca llegue al rodete de la turbina. En casas de máquinas equipadas con turbinas de reacción, el nivel del agua en el canal de descarga influencia el comportamiento de la turbina ya que si no es el correcto, puede dar lugar a fenómenos de cavitación. Ese nivel también afecta al valor de la carga bruta, y en saltos de pequeña altura puede llegar hacer que el proyecto sea económicamente inviable.

En etapas más avanzadas cuando se cuente con una topografía detallada, la casa de maquinas y su canal de desfogue se debe ubicar de manera que se tengan las mejores condiciones para el aprovechamiento de la energía hidráulica; aunque esta etapa de estudio es preliminar se puede proponer que el canal de desfogue debe estar alojado en el terreno natural y construido de concreto armado de buena calidad.

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO

4.1.1. Características generales del potencial hidroeléctrico

En general se ubicaron 21 proyectos que en conjunto suman una potencia instalable de 74.279 MW para producir una energía eléctrica firme media anual de 650.520 GWh (ver tabla 4.1). La gama de la potencia instalable en los proyecto se encuentra entre 1.852 a 5.825 MW, por lo cual la potencia media instalable en los proyectos es de 3.5 MW y, los proyectos pueden ser clasificados en la categoría de pequeñas centrales hidroeléctricas.

Las principales corrientes a aprovechar son: Río Los Pescados, Río Texolo, Río Pixquiac, Río Huixilapan y Río Los Ajolotes. Estas corrientes son los principales tributarios al Río de la Antigua que es el colector principal de la Cuenca. Respecto a la ubicación topográfica, la mayor parte del potencial hidroeléctrico se encuentra localizado en la zona de transición topográfica, esto es, entre la parte alta y la planicie de la cuenca, aproximadamente entre las elevaciones 1,200 y 220 msnm, sólo dos proyectos se consideran ubicados en la parte alta (ver figura 4.1).

De los veinte municipios que conforman la cuenca de la Antigua (tabla 2.1), el potencial hidroeléctrico identificado está ubicado en solo 8, de los cuales 7 se encuentran en el estado de Veracruz y sólo Ixhuacán de Los Reyes pertenece al estado de Puebla. En la tabla 4.2 se puede observar la ubicación política del potencial hidroeléctrico, el número de proyectos por municipio, su potencia instalable y su generación media anual.

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

TABLA 4.1. Resumen de potencial hidroeléctrico en la cuenca

No	Proyecto	Corriente Aprovechada	Municipio	H_b [m]	Q_{eq} [m ³ /s]	P.I. [MW]	GMA [GWh]
1	Paso limón	Río Los Pescados	Apazapan	32.0	14.71	3.954	34.64
2	Coetzala	Río Los Pescados	Apazapan	25.0	16.10	3.381	29.62
3	Apazapan	Río Los Pescados	Jalcomulco	23.0	16.10	3.111	27.25
4	Jalcomulco	Río Los Pescados	Jalcomulco	42.0	16.10	5.681	49.76
5	El Vado	Río Los Pescados	Coatepec	46.0	15.70	5.825	51.03
6	El Campanario	Río Los Pescados	Coatepec	31.0	8.50	2.214	19.4
7	Tuzamapan	Río Texolo	Coatepec	81.0	6.14	4.181	36.63
8	Llano Grande	Río Pixquiac	Coatepec	130.0	2.31	2.520	22.07
9	Mahuixtlán	Río Pixquiac	Coatepec	174.0	1.83	2.676	23.45
10	Isleta	Río Texolo	Xico	120.0	2.38	2.399	21.01
11	Teocelo	Río Texolo	Xico	100.0	2.20	1.852	16.22
12	La Laguna	Río Los Pescados	Teocelo	49.0	10.30	4.240	37.14
13	El Encanto	Río Los Pescados	Tlaltetela	47.0	10.30	4.067	35.63
14	Tlaltetela	Río Los Pescados	Tlaltetela	40.0	10.30	3.461	30.32
15	Monte Chico	Río Los Pescados	Tlaltetela	52.0	10.30	4.500	39.42
16	Amatitla	Río Los Pescados	Tlaltetela	47.0	10.30	4.067	35.63
17	Villa Nueva	Río Huixtlapan	Ixhuacán de Los Reyes	53.0	6.44	2.868	25.13
18	Camujapan	Río Huixtlapan	Ixhuacán de Los Reyes	57.0	4.03	1.930	16.9
19	Barranca Grande	Río Los Ajolotes	Ixhuacán de Los Reyes	179.0	2.21	3.331	29.18
20	Palma Sola	Río Huixtlapan	Quimixtlán	185.0	3.26	5.062	44.34
21	Quimixtlán	Río Huixtlapan	Quimixtlán	160.0	2.19	2.939	25.75
TOTAL						74.259	650.520

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA



FIGURA 4.1. Ubicación del Potencial hidroeléctrico

TABLA 4.2. Potencial hidroeléctrico en los municipios que conforman la cuenca

Estado	Municipio	Número de Proyectos	P.I. [MW]	GMA [GWh]
Veracruz	Apazapan	2	7.335	64.26
Veracruz	Jalcomulco	2	8.792	77.01
Veracruz	Coatepec	5	17.416	152.58
Veracruz	Xico	2	4.251	37.23
Veracruz	Teocelo	1	4.24	37.14
Veracruz	Tlaltetela	4	16.095	141
Veracruz	Ixhuacán de Los Reyes	3	8.129	71.21
Puebla	Quimixtlán	2	8.001	70.09

4.1.2. Comparación del potencial hidroeléctrico contra el consumo en la cuenca

De consultar el Sistema Estatal y Municipal de Base de Datos (SIMBAD), publicado por el INEGI a través de su página en internet, se obtuvo información referente al consumo y venta de energía eléctrica, en GWh y millones de pesos respectivamente, al 31 de diciembre de 2011 en los diferentes municipios que conforman la cuenca (ver tabla 4.3). A partir de esta información se determinó la potencia media en los diferentes municipios, y el costo medio de energía eléctrica de 1.42 pesos por kWh.

El potencial identificado corresponde al 22.31 por ciento de la energía eléctrica demandada por la cuenca y 924.88 Millones de pesos anuales por concepto de consumo de energía eléctrica. Los municipios de Veracruz y Xalapa son los municipios con más aporte al consumo de energía eléctrica y no cuenta con potencial identificado en este trabajo, pero en la mayoría de los municipios con potencial hidroeléctrico identificado el aporte rebasa el consumo de energía eléctrica.

TABLA 4.3. Consumo bruto, potencia media y ventas totales de energía eléctrica al 31 de Diciembre de 2011, en los municipios que conforman la cuenca

Municipio	Estado	Ventas [GWh]	Potencia Media [MW]	Ventas [Millones de Pesos]
Chichiquila	Puebla	3.45	0.393	4.13
Chilchotla	Puebla	3.85	0.439	5.33
Quimixtlán	Puebla	3.17	0.362	4.28
La Antigua	Veracruz	41.22	4.705	67.37
Apazapan	Veracruz	89.05	10.166	105.34
Ayahualulco	Veracruz	4.61	0.526	5.80
Coatepec	Veracruz	98.81	11.280	151.50
Cosautlan de Carvajal	Veracruz	4.04	0.461	5.60
Ixhuacan de los Reyes	Veracruz	1.89	0.215	2.46
Jalcomulco	Veracruz	2.13	0.243	3.09
Paso de Ovejas	Veracruz	16.02	1.828	22.31
Puente Nacional	Veracruz	14.54	1.659	17.79
Tenampa	Veracruz	1.71	0.195	2.30
Teocelo	Veracruz	6.68	0.763	9.80
Tlacotepec de Mejia	Veracruz	2.26	0.258	2.98
Tlaltetela	Veracruz	5.13	0.585	6.90
Totutla	Veracruz	4.79	0.546	6.72
Veracruz	Veracruz	2,160.06	246.582	2,966.95
Xalapa	Veracruz	440.13	50.243	737.63
Xico	Veracruz	12.10	1.381	17.01
TOTAL		2,915.62	332.83	4,145.31

4.2. CARTERA DE PROYECTOS

La cartera de proyectos está conformada por todas las fichas técnicas de los proyectos identificados. En las fichas técnicas se puede obtener de manera resumida para cada proyecto su ubicación, esquema conceptual, estudio hidroenergético, accesibilidad, infraestructura de interconexión, dimensiones de casa de maquinas, entre otros. A continuación se presentan las fichas técnicas de los proyectos identificados.

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto

Paso Limón

No. 1

Ubicación	Estado de Veracruz	Municipio	Apazapan
Cuenca general	Río La Antigua	Corriente aprovechada	Río Los Pescados
Localización en cartas INEGI			F14B38 y E14B37
Localización geográfica de la captación		Lat. 19°18'33.92"N	Long. 96°41'17.36"O
Localización geográfica casa de máquinas		Lat. 19°18'54.67"N	Long. 96°39'30.21"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Los Pescados es captada mediante una presa de gaviones de 2.0 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen izquierda con longitud de 3.7 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 32.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Los Pescados a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 3,954 kW para producir una energía media anual de 34.64 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Veracruz, se toma la carretera Xalapa-Veracruz con rumbo a Xalapa, con un recorrido aproximado de 65 km, posteriormente se toma la desviación a Emiliano Zapata, se continua aproximadamente 22 km hasta llegar a Apazapan. El sitio de la captación se localiza a 3.0 km al este de Apazapan y la casa de máquinas a 6.4 km al este. Sobre la margen izquierda del río se encuentra una carretera pavimentada.

Turbinas

Tipo	Francis
Q equipado	14.71 m ³ /s
Carga Bruta H _b	32.00 m
Eficiencia Global [η _G]	0.856

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	7.355	1,977
U2	7.355	1,977
Potencia total		3,954

Estación hidrométrica

Nombre: Carrizal	Área de aforo	1,568.05	km ²	Factor de Ajuste	1.00
	Área de captación	1,568.05	km ²	Se considera el total en la estación	

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	95.10	64.24	47.66	36.00	28.87	24.62	21.56	18.77	16.31	14.71		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	23.68	21.46	18.79	18.60	20.36	51.88	77.39	77.14	109.03	69.99	39.07	27.75
Vol. Escurrido [Mm³]	63.43	51.92	50.32	48.22	54.52	134.48	207.28	206.61	282.59	187.45	101.28	74.31
Vol. Turbinado [Mm³]	39.40	35.59	39.40	38.13	39.40	38.13	39.40	39.40	38.13	39.40	38.13	39.40
Vol. Aprovechado [%]	62.12	68.54	78.29	79.07	72.26	28.35	19.01	19.07	13.49	21.02	37.65	53.02
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
Generación												
Potencia media en MW	3.954	3.954	3.954	3.954	3.954	3.954	3.954	3.954	3.954	3.954	3.954	3.954
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	2.94	2.66	2.94	2.85	2.94	2.85	2.94	2.94	2.85	2.94	2.85	2.94
Generación media anual	34.64 GWh											

Casa de máquinas

Tipo	Exterior	Ancho	7.00	m	Largo	10.00	m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión:					1.00	km	
Longitud de caminos de acceso:					1.00	km	

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto

Coetzala

No. 2

Ubicación	Estado de Veracruz	Municipio	Apazapan
Cuenca general	Río La Antigua	Corriente aprovechada	Río Los Pescados
Localización en cartas INEGI		E14B37	
Localización geográfica de la captación	Lat. 19°19'25.05"N	Long.	96°43'50.99"O
Localización geográfica casa de máquinas	Lat. 19°18'37.67"N	Long.	96°42'10.57"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Los Pescados es captada mediante una presa de gaviones de 2.0 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen derecha con longitud de 3.8 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 25.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Los Pescados a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 3,381 kW para producir una energía media anual de 29.62 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Veracruz, se toma la carretera Xalapa-Veracruz con rumbo a Xalapa, con un recorrido aproximado de 65 km, posteriormente se toma la desviación a Emiliano Zapata, se continua aproximadamente 22 km hasta llegar a Apazapan. El sitio de la captación se localiza a 1.3 km al Noroeste de Apazapan y la casa de máquinas a 1.9 km al sureste. Sobre la margen izquierda del río se encuentra una carretera pavimentada.

Turbinas

Tipo	Francis
Q equipado	16.10 m ³ /s
Carga Bruta H _b	25.00 m
Eficiencia Global [η _G]	0.856

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	8.05	1,691
U2	8.05	1,691
Potencia total		3,381

Estación hidrométrica

Nombre: Jalcomulco	Área de aforo	1,431.95	km ²	Factor de Ajuste	1.00
	Área de captación	1,431.95	km ²	Se considera el total en la estación	

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m ³ /s]	99.50	71.00	53.80	41.50	32.70	27.60	24.20	21.10	18.20	16.10		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m ³ /s]	26.18	23.56	21.15	20.15	22.28	54.73	80.98	85.61	108.99	74.54	43.06	31.68
Vol. Escurrecido [Mm ³]	70.13	57.00	56.66	52.22	59.68	141.85	216.90	229.29	282.49	199.64	111.61	84.85
Vol. Turbinado [Mm ³]	43.12	38.95	43.12	41.73	43.12	41.73	43.12	43.12	41.73	43.12	41.73	43.12
Vol. Aprovechado [%]	61.49	68.33	76.11	79.92	72.26	29.42	19.88	18.81	14.77	21.60	37.39	50.82
Factor de gen. F _g [kW/m ³]	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058	0.058
Generación												
Potencia media en MW	3.381	3.381	3.381	3.381	3.381	3.381	3.381	3.381	3.381	3.381	3.381	3.381
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	2.52	2.27	2.52	2.43	2.52	2.43	2.52	2.52	2.43	2.52	2.43	2.52
Generación media anual	29.62 GWh											

Casa de máquinas

Tipo	Exterior	Ancho	7.00	m	Largo	10.00	m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión:					1.80	km	
Longitud de caminos de acceso:					1.00	km	

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto **Apazapan** **No.** 3

Ubicación Estado de Veracruz **Municipio** Jalcomulco
Cuenca general Río La Antigua **Corriente aprovechada** Río Los Pescados
Localización en cartas INEGI E14B37
Localización geográfica de la captación Lat. 19°19'54.97"N Long. 96°45'15.63"O
Localización geográfica casa de máquinas Lat. 19°19'33.16"N Long. 96°44'4.08"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Los Pescados es captada mediante una presa de gaviones de 2.0 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen derecha con longitud de 2.4 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 23.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Los Pescados a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 3,111 kW para producir una energía media anual de 27.25 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Veracruz, se toma la carretera Xalapa-Veracruz con rumbo a Xalapa, con un recorrido aproximado de 65 km, posteriormente se toma la desviación a Emiliano Zapata, se continua aproximadamente 27 km pasando por Apazapan hasta llegar a Jalcomulco. El sitio de la captación se localiza a 0.6 km al este de Jalcomulco y la casa de máquinas a 2.7 km al sureste. Sobre la margen izquierda del río se encuentra una carretera pavimentada.

Turbinas

Tipo Francis
 Q equipado 16.10 m³/s
 Carga Bruta H_b 23.00 m
 Eficiencia Global [η_G] 0.856

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	8.05	1,555
U2	8.05	1,555
Potencia total		3,111

Estación hidrométrica

Nombre: Jalcomulco **Área de aforo** 1,431.95 km² **Factor de Ajuste** 1.00
Área de captación 1,431.95 km² **Se considera el total en la estación**

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	99.50	71.00	53.80	41.50	32.70	27.60	24.20	21.10	18.20	16.10		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	26.18	23.56	21.15	20.15	22.28	54.73	80.98	85.61	108.99	74.54	43.06	31.68
Vol. Escurrido [Mm³]	70.13	57.00	56.66	52.22	59.68	141.85	216.90	229.29	282.49	199.64	111.61	84.85
Vol. Turbinado [Mm³]	43.12	38.95	43.12	41.73	43.12	41.73	43.12	43.12	41.73	43.12	41.73	43.12
Vol. Aprovechado [%]	61.49	68.33	76.11	79.92	72.26	29.42	19.88	18.81	14.77	21.60	37.39	50.82
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054
Generación												
Potencia media en MW	3.111	3.111	3.111	3.111	3.111	3.111	3.111	3.111	3.111	3.111	3.111	3.111
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	2.31	2.09	2.31	2.24	2.31	2.24	2.31	2.31	2.24	2.31	2.24	2.31
Generación media anual	27.25 GWh											

Casa de máquinas

Tipo Exterior **Ancho** 7.00 m **Largo** 10.00 m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión: 0.50 km
Longitud de caminos de acceso: 1.00 km

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto	Jalcomulco	No.	4
Ubicación	Estado de Veracruz	Municipio	Jalcomulco
Cuenca general	Río La Antigua	Corriente aprovechada	Río Los Pescados
Localización en cartas INEGI			E14B37
Localización geográfica de la captación	Lat. 19°20'9.96"N	Long.	96°47'41.40"O
Localización geográfica casa de máquinas	Lat. 19°19'52.58"N	Long.	96°45'57.75"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Los Pescados es captada mediante una presa de gaviones de 2.0 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen izquierda con longitud de 3.5 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 42.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Los Pescados a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 5,681 kW para producir una energía media anual de 49.76 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Veracruz, se toma la carretera Xalapa-Veracruz con rumbo a Xalapa, con un recorrido aproximado de 65 km, posteriormente se toma la desviación a Emiliano Zapata, se continua aproximadamente 27 km pasando por Apazapan hasta llegar a Jalcomulco. El sitio de la captación se localiza a 3.4 km al oeste de Jalcomulco y la casa de máquinas conlinda al oeste. Sobre la margen izquierda del río se encuentra una carretera pavimentada.

Turbinas

Tipo	Francis	
Q equipado	16.10	m ³ /s
Carga Bruta H _b	42.00	m
Eficiencia Global [η _G]	0.856	

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	8.05	2,840
U2	8.05	2,840
Potencia total		5,681

Estación hidrométrica

Nombre: Jalcomulco	Área de aforo	1,431.95	km ²	Factor de Ajuste	1.00
	Área de captación	1,431.95	km ²	Se considera el total en la estación	

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	99.50	71.00	53.80	41.50	32.70	27.60	24.20	21.10	18.20	16.10		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	26.18	23.56	21.15	20.15	22.28	54.73	80.98	85.61	108.99	74.54	43.06	31.68
Vol. Escurrido [Mm³]	70.13	57.00	56.66	52.22	59.68	141.85	216.90	229.29	282.49	199.64	111.61	84.85
Vol. Turbinado [Mm³]	43.12	38.95	43.12	41.73	43.12	41.73	43.12	43.12	41.73	43.12	41.73	43.12
Vol. Aprovechado [%]	61.49	68.33	76.11	79.92	72.26	29.42	19.88	18.81	14.77	21.60	37.39	50.82
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098	0.098
Generación												
Potencia media en MW	5.681	5.681	5.681	5.681	5.681	5.681	5.681	5.681	5.681	5.681	5.681	5.681
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	4.23	3.82	4.23	4.09	4.23	4.09	4.23	4.23	4.09	4.23	4.09	4.23
Generación media anual	49.76 GWh											

Casa de máquinas

Tipo	Exterior	Ancho	7.00	m	Largo	12.00	m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión:					0.50	km	
Longitud de caminos de acceso:					3.00	km	

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto	El Vado	No.	5
Ubicación	Estado de Veracruz	Municipio	Coatepec
Cuenca general	Río La Antigua	Corriente aprovechada	Río Los Pescados
Localización en cartas INEGI			E14B37
Localización geográfica de la captación		Lat. 19°22'3.28"N	Long. 96°50'13.86"O
Localización geográfica casa de máquinas		Lat. 19°21'20.15"N	Long. 96°48'29.05"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Los Pescados es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen izquierda con longitud de 3.9 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 46.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Los Pescados a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 5,825 kW para producir una energía media anual de 51.03 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera Xalapa-Veracruz con rumbo a Veracruz con recorrido de 3.0 km, posteriormente se toma la desviación a la carretera Las Trancas-Coatepec y se continua hasta llegar a el poblado de Tuzamapan con recorrido aproximado de 20 km. El sitio de la captación se localiza a 4.6 km al sureste de Tuzamapan y la casa de máquinas a 7.7 km al sureste. De Tuzamapan se toma la carretera federal 180 con dirección sureste e intersecta con el río los pescado, en la cercanía del sitio.

Turbinas

Tipo	Francis		
Q equipado	15.07	m ³ /s	
Carga Bruta H _b	46.0	m	
Eficiencia Global [η _G]	0.856		

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	7.54	2,913
U2	7.54	2,913
Potencia total		5,825

Estación hidrométrica

Nombre:	Jalcomulco	Área de aforo	1,431.95	km ²	Factor de Ajuste	0.94
		Área de captación	1,340.75	km ²		

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	93.16	66.48	50.37	38.86	30.62	25.84	22.66	19.76	17.04	15.07		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	24.52	22.06	19.81	18.86	20.86	51.24	75.82	80.15	102.05	69.79	40.32	29.66
Vol. Ecurrido [Mm³]	65.67	53.37	53.05	48.89	55.88	132.81	203.08	214.69	264.50	186.92	104.50	79.45
Vol. Turbinado [Mm³]	40.38	36.47	40.38	39.07	40.38	39.07	40.38	40.38	39.07	40.38	39.07	40.38
Vol. Aprovechado [%]	61.49	68.33	76.11	79.92	72.26	29.42	19.88	18.81	14.77	21.60	37.39	50.82
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107
Generación												
Potencia media en MW	5.825	5.825	5.825	5.825	5.825	5.825	5.825	5.825	5.825	5.825	5.825	5.825
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	4.33	3.91	4.33	4.19	4.33	4.19	4.33	4.33	4.19	4.33	4.19	4.33
Generación media anual	51.03 GWh											

Casa de máquinas

Tipo	Exterior	Ancho	7.00	m	Largo	12.00	m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión:					1.00	km	
Longitud de caminos de acceso:					1.70	km	

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto **El Campanario** **No. 6**

Ubicación Estado de Veracruz **Municipio** Coatepec
Cuenca general Río La Antigua **Corriente aprovechada** Río Los Pescados
Localización en cartas INEGI E14B37
Localización geográfica de la captación Lat. 19°22'3.51"N Long. 96°51'21.96"O
Localización geográfica casa de máquinas Lat. 19°22'5.11"N Long. 96°50'25.09"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Los Pescados es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen derecha con longitud de 2.2 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 31.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Los Pescados a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 2,214 kW para producir una energía media anual de 19.40 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera Xalapa-Veracruz con rumbo a Veracruz con recorrido de 3.0 km, posteriormente se toma la desviación a la carretera Las Trancas-Coatepec y se continua hasta llegar a el poblado de Tuzamapan con recorrido aproximado de 20 km. El sitio de la captación se localiza a 3.7 km al sureste de Tuzamapan y la casa de máquinas a 4.4 km al sureste. De Tuzamapan se toma la carretera federal 180 con dirección sureste, se cruza el río los pescado y se continua aproximadamente 3.6 km.

Turbinas

Tipo Francis
 Q equipado 8.50 m³/s
 Carga Bruta H_b 31.0 m
 Eficiencia Global [η_G] 0.856

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	4.25	1,107
U2	4.25	1,107
Potencia total		2,214

Estación hidrométrica

Nombre: Jalcomulco **Área de aforo** 1,431.95 km² **Factor de Ajuste** 0.53
Área de captación 756.19 km²

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	52.54	37.49	28.41	21.92	17.27	14.58	12.78	11.14	9.61	8.50		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	13.83	12.44	11.17	10.64	11.77	28.90	42.76	45.21	57.55	39.36	22.74	16.73
Vol. Ecurrido [Mm³]	37.04	30.10	29.92	27.57	31.52	74.91	114.54	121.08	149.18	105.43	58.94	44.81
Vol. Turbinado [Mm³]	22.77	20.57	22.77	22.04	22.77	22.04	22.77	22.77	22.04	22.77	22.04	22.77
Vol. Aprovechado [%]	61.49	68.33	76.11	79.92	72.26	29.42	19.88	18.81	14.77	21.60	37.39	50.82
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072
Generación												
Potencia media en MW	2.214	2.214	2.214	2.214	2.214	2.214	2.214	2.214	2.214	2.214	2.214	2.214
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	1.65	1.49	1.65	1.59	1.65	1.59	1.65	1.65	1.59	1.65	1.59	1.65
Generación media anual	19.40 GWh											

Casa de máquinas

Tipo Exterior **Ancho** 6.00 m **Largo** 9.00 m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión: 1.00 km
Longitud de caminos de acceso: 1.60 km

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto	Tuzamapan			No.	7
Ubicación	Estado de Veracruz	Municipio	Coatepec		
Cuenca general	Río La Antigua	Corriente aprovechada	Río Texolo		
Localización en cartas INEGI		E14B37			
Localización geográfica de la captación		Lat. 19°22'55.80"N		Long. 96°53'3.07"O	
Localización geográfica casa de máquinas		Lat. 19°22'41.68"N		Long. 96°51'13.77"O	

Esquema Conceptual

La corriente del río Texolo es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen derecha con longitud de 3.3 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 81.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Texolo a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 4,181 kW para producir una energía media anual de 36.63 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera Xalapa-Veracruz con rumbo a Veracruz con recorrido de 3.0 km, posteriormente se toma la desviación a la carretera Las Trancas-Coatepec y se continua hasta llegar a el poblado de Tuzamapan con recorrido aproximado de 20 km. El sitio de la captación se localiza a 2.9 km al suroeste de Tuzamapan y la casa de máquinas a 2.5 km al sureste.

Turbinas

Tipo	Francis		
Q equipado	6.14	m ³ /s	
Carga Bruta H _b	81.0	m	
Eficiencia Global [η _G]	0.856		

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	3.07	2,091
U2	3.07	2,091
Potencia total		4,181

Estación hidrométrica

Nombre: Jalcomulco	Área de aforo	1,431.95	km ²	Factor de Ajuste	0.38
	Área de captación	546.48	km ²		

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	37.97	27.10	20.53	15.84	12.48	10.53	9.24	8.05	6.95	6.14		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	9.99	8.99	8.07	7.69	8.50	20.88	30.90	32.67	41.59	28.45	16.43	12.09
Vol. Escurrido [Mm³]	26.76	21.75	21.62	19.93	22.78	54.13	82.78	87.50	107.81	76.19	42.59	32.38
Vol. Turbinado [Mm³]	16.46	14.86	16.46	15.93	16.46	15.93	16.46	16.46	15.93	16.46	15.93	16.46
Vol. Aprovechado [%]	61.49	68.33	76.11	79.92	72.26	29.42	19.88	18.81	14.77	21.60	37.39	50.82
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189
Generación												
Potencia media en MW	4.181	4.181	4.181	4.181	4.181	4.181	4.181	4.181	4.181	4.181	4.181	4.181
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	3.11	2.81	3.11	3.01	3.11	3.01	3.11	3.11	3.01	3.11	3.01	3.11
Generación media anual	36.63 GWh											

Casa de máquinas

Tipo	Exterior	Ancho	7.00	m	Largo	10.00	m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión:						1.00	km
Longitud de caminos de acceso:						2.50	km

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto	Llano Grande		No.	8
Ubicación	Estado de Veracruz	Municipio	Coatepec	
Cuenca general	Río La Antigua	Corriente aprovechada	Río Pixquiác	
Localización en cartas INEGI			E14B37	
Localización geográfica de la captación		Lat.	19°24'14.21"N	Long. 96°53'27.42"O
Localización geográfica casa de máquinas		Lat.	19°23'5.92"N	Long. 96°53'8.60"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Pixquiác es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen izquierda con longitud de 2.1 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 130.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Pixquiác a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 2,520 kW para producir una energía media anual de 22.07 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera Nueva Xalapa-Coatepec con rumbo a Coatepec hasta llegar a la cabecera municipal, con recorrido aproximado de 12 km; posteriormente se toma el camino a Mahuixtlán con recorrido de 8 km. El sitio de la captación se localiza a 2.6 km al este de Mahuixtlán y la casa de máquinas a 4.1 km al sureste.

Turbinas

Tipo	Francis	
Q equipado	2.31	m ³ /s
Carga Bruta H _b	130.0	m
Eficiencia Global [η _G]	0.856	

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	1.15	1,260
U2	1.15	1,260
Potencia total		2,520

Estación hidrométrica

Nombre:	Jalcomulco	Área de aforo	1,431.95	km ²	Factor de Ajuste	0.14
		Área de captación	205.22	km ²		

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	14.26	10.18	7.71	5.95	4.69	3.96	3.47	3.02	2.61	2.31		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	3.75	3.38	3.03	2.89	3.19	7.84	11.61	12.27	15.62	10.68	6.17	4.54
Vol. Escurrido [Mm³]	10.05	8.17	8.12	7.48	8.55	20.33	31.08	32.86	40.49	28.61	15.99	12.16
Vol. Turbinado [Mm³]	6.18	5.58	6.18	5.98	6.18	5.98	6.18	6.18	5.98	6.18	5.98	6.18
Vol. Aprovechado [%]	61.49	68.33	76.11	79.92	72.26	29.42	19.88	18.81	14.77	21.60	37.39	50.82
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303	0.303
Generación												
Potencia media en MW	2.520	2.520	2.520	2.520	2.520	2.520	2.520	2.520	2.520	2.520	2.520	2.520
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	1.87	1.69	1.87	1.81	1.87	1.81	1.87	1.87	1.81	1.87	1.81	1.87
Generación media anual	22.07 GWh											

Casa de máquinas

Tipo	Exterior	Ancho	6.00	m	Largo	9.00	m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión:					2.00	km	
Longitud de caminos de acceso:					1.60	km	

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto	Mahuixtlán	No.	9
Ubicación	Estado de Veracruz	Municipio	Coatepec
Cuenca general	Río La Antigua	Corriente aprovechada	Río Pixquiác
Localización en cartas INEGI			E14B37
Localización geográfica de la captación		Lat.	19°25'24.60"N Long. 96°54'3.65"O
Localización geográfica casa de máquinas		Lat.	19°24'16.85"N Long. 96°53'29.35"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Pixquiác es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen izquierda con longitud de 2.4 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 174.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Pelton, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Pixquiác a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 2,676 kW para producir una energía media anual de 23.45 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera Nueva Xalapa-Coatepec con rumbo a Coatepec hasta llegar a la cabecera municipal, con recorrido aproximado de 12 km; posteriormente se toma el camino a Mahuixtlán con recorrido de 8 km. El sitio de la captación se localiza a 2.2 km al noreste de Mahuixtlán y la casa de máquinas a 2.6 km al este.

Turbinas

Tipo	Pelton	
Q equipado	1.83	m ³ /s
Carga Bruta H _b	174.0	m
Eficiencia Global [η _G]	0.856	

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	0.92	1,338
U2	0.92	1,338
Potencia total		2,676

Estación hidrométrica

Nombre:	Jalcomulco	Área de aforo	1,431.95	km ²	Factor de Ajuste	0.11
		Área de captación	162.85	km ²		

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	11.32	8.07	6.12	4.72	3.72	3.14	2.75	2.40	2.07	1.83		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	2.98	2.68	2.41	2.29	2.53	6.22	9.21	9.74	12.39	8.48	4.90	3.60
Vol. Escurrido [Mm³]	7.98	6.48	6.44	5.94	6.79	16.13	24.67	26.08	32.13	22.70	12.69	9.65
Vol. Turbinado [Mm³]	4.90	4.43	4.90	4.75	4.90	4.75	4.90	4.90	4.75	4.90	4.75	4.90
Vol. Aprovechado [%]	61.49	68.33	76.11	79.92	72.26	29.42	19.88	18.81	14.77	21.60	37.39	50.82
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406
Generación												
Potencia media en MW	2.676	2.676	2.676	2.676	2.676	2.676	2.676	2.676	2.676	2.676	2.676	2.676
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	1.99	1.80	1.99	1.93	1.99	1.93	1.99	1.99	1.93	1.99	1.93	1.99
Generación media anual	23.45 GWh											

Casa de máquinas

Tipo	Exterior	Ancho	6.00	m	Largo	9.00	m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión:					2.50	km	
Longitud de caminos de acceso:					1.00	km	

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto	Isleta		No. 10
Ubicación	Estado de Veracruz	Municipio	Xico
Cuenca general	Río La Antigua	Corriente aprovechada	Río Texolo
Localización en cartas INEGI			E14B37
Localización geográfica de la captación		Lat.	19°22'57.85"N Long. 96°55'11.24"O
Localización geográfica casa de máquinas		Lat.	19°22'15.97"N Long. 96°53'46.53"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Texolo es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen izquierda con longitud de 3.0 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 120.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Texolo a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 2,399 kW para producir una energía media anual de 21.01 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera Nueva Xalapa-Coatepec con rumbo a Coatepec hasta llegar a la cabecera municipal, con recorrido aproximado de 12 km; posteriormente se toma el camino a Mahuixtlán con recorrido de 8 km. El sitio de la captación se localiza a 2.6 km al sur de Mahuixtlán y la casa de máquinas a 4.7 km al sureste.

Turbinas

Tipo	Francis	
Q equipado	2.38	m ³ /s
Carga Bruta H _b	120.0	m
Eficiencia Global [η _G]	0.856	

Unidad	Gasto	Potencia
	m ³ /s	kW
U1	1.19	1,199
U2	1.19	1,199
Potencia total		2,399

Estación hidrométrica

Nombre: Jalcomulco	Área de aforo	1,431.95	km ²	Factor de Ajuste	0.15
	Área de captación	211.65	km ²		

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	14.71	10.49	7.95	6.13	4.83	4.08	3.58	3.12	2.69	2.38		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	3.87	3.48	3.13	2.98	3.29	8.09	11.97	12.65	16.11	11.02	6.36	4.68
Vol. Escurrido [Mm³]	10.37	8.42	8.37	7.72	8.82	20.97	32.06	33.89	41.75	29.51	16.50	12.54
Vol. Turbinado [Mm³]	6.37	5.76	6.37	6.17	6.37	6.17	6.37	6.37	6.17	6.37	6.17	6.37
Vol. Aprovechado [%]	61.49	68.33	76.11	79.92	72.26	29.42	19.88	18.81	14.77	21.60	37.39	50.82
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280
Generación												
Potencia media en MW	2.399	2.399	2.399	2.399	2.399	2.399	2.399	2.399	2.399	2.399	2.399	2.399
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	1.78	1.61	1.78	1.73	1.78	1.73	1.78	1.78	1.73	1.78	1.73	1.78
Generación media anual	21.01 GWh											

Casa de máquinas

Tipo	Exterior	Ancho	6.00	m	Largo	9.00	m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión:						1.50	km
Longitud de caminos de acceso:						2.50	km

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto **Teocelo** **No.** 11

Ubicación Estado de Veracruz **Municipio** Xico
Cuenca general Río La Antigua **Corriente aprovechada** Río Texolo
Localización en cartas INEGI E14B37
Localización geográfica de la captación Lat. 19°24'9.23"N Long. 96°59'29.69"O
Localización geográfica casa de máquinas Lat. 19°23'55.60"N Long. 96°57'53.01"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Texolo es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen derecha con longitud de 3.2 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 100.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Texolo a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 1,852 kW para producir una energía media anual de 16.22 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera Nueva Xalapa-Coatepec con rumbo a Coatepec hasta llegar a la cabecera municipal, con recorrido aproximado de 12 km; posteriormente se toma la carretera Xalapa-Teocelo con recorrido de 9 km. El sitio de la captación se localiza a 2.5 km al Noroeste de Teocelo y la casa de máquinas a 1.8 km al Noreste.

Turbinas

Tipo Francis
 Q equipado 2.20 m³/s
 Carga Bruta H_b 100.0 m
 Eficiencia Global [η_G] 0.856

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	1.10	926
U2	1.10	926
Potencia total		1,852

Estación hidrométrica

Nombre: Jalcomulco Área de aforo 1,431.95 km² Factor de Ajuste 0.14
Área de captación 196.04 km²

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	13.62	9.72	7.37	5.68	4.48	3.78	3.31	2.89	2.49	2.20		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	3.58	3.23	2.90	2.76	3.05	7.49	11.09	11.72	14.92	10.20	5.89	4.34
Vol. Escurrido [Mm³]	9.60	7.80	7.76	7.15	8.17	19.42	29.69	31.39	38.67	27.33	15.28	11.62
Vol. Turbinado [Mm³]	5.90	5.33	5.90	5.71	5.90	5.71	5.90	5.90	5.71	5.90	5.71	5.90
Vol. Aprovechado [%]	61.49	68.33	76.11	79.92	72.26	29.42	19.88	18.81	14.77	21.60	37.39	50.82
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233
Generación												
Potencia media en MW	1.852	1.852	1.852	1.852	1.852	1.852	1.852	1.852	1.852	1.852	1.852	1.852
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	1.38	1.24	1.38	1.33	1.38	1.33	1.38	1.38	1.33	1.38	1.33	1.38
Generación media anual	16.22 GWh											

Casa de máquinas

Tipo Exterior Ancho 6.00 m Largo 9.00 m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión: 2.00 km
Longitud de caminos de acceso: 2.00 km

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto **La Laguna** **No.** 12

Ubicación Estado de Veracruz **Municipio** Teocelo
Cuenca general Río La Antigua **Corriente aprovechada** Río Los Pescados
Localización en cartas INEGI E14B37
Localización geográfica de la captación Lat. 19°20'57.95"N Long. 96°52'52.01"O
Localización geográfica casa de máquinas Lat. 19°21'37.05"N Long. 96°51'33.37"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Los Pescados es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen derecha con longitud de 3.3 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 49.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Los Pescados a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 4,240 kW para producir una energía media anual de 37.14 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera nueva Xalapa-Coatepec hasta llegar a la cabecera municipal de Coatepec con recorrido de 7.5 km, posteriormente se toma la carretera 180 hacia Tuzumapan y se continua hasta llegar a el poblado de Tlaltetela con recorrido aproximado de 39 km. El sitio de la captación se localiza a 4.8 km al noreste de Tlaltetela y la casa de máquinas a 7.3 km al noreste.

Turbinas

Tipo Francis
 Q equipado 10.30 m³/s
 Carga Bruta H_b 49.0 m
 Eficiencia Global [η_G] 0.856

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	5.15	2,120
U2	5.15	2,120
Potencia total		4,240

Estación hidrométrica

Nombre: Amatitla **Área de aforo** 616.69 km² **Factor de Ajuste** 1.00
Área de captación 616.69 km² **Se considera el total en la estación**

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	44.40	33.10	26.80	22.30	19.50	17.10	15.10	12.80	11.20	10.30		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	16.15	15.03	14.12	13.63	13.92	23.34	35.40	39.89	48.81	35.61	23.20	18.70
Vol. Escurrido [Mm³]	43.26	36.35	37.82	35.33	37.28	60.49	94.80	106.83	126.52	95.39	60.13	50.08
Vol. Turbinado [Mm³]	27.59	24.92	27.59	26.70	27.59	26.70	27.59	27.59	26.70	27.59	26.70	27.59
Vol. Aprovechado [%]	63.76	68.55	72.95	75.57	74.01	44.14	29.10	25.82	21.10	28.92	44.40	55.08
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114
Generación												
Potencia media en MW	4.240	4.240	4.240	4.240	4.240	4.240	4.240	4.240	4.240	4.240	4.240	4.240
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	3.15	2.85	3.15	3.05	3.15	3.05	3.15	3.15	3.05	3.15	3.05	3.15
Generación media anual	37.14 GWh											

Casa de máquinas

Tipo Exterior **Ancho** 7.00 m **Largo** 12.00 m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión: 1.00 km
Longitud de caminos de acceso: 1.70 km

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto **El Encanto** **No. 13**

Ubicación Estado de Veracruz **Municipio** Tlaltetela
Cuenca general Río La Antigua **Corriente aprovechada** Río Los Pescados
Localización en cartas INEGI E14B37
Localización geográfica de la captación Lat. 19°20'8.21"N Long. 96°54'0.80"O
Localización geográfica casa de máquinas Lat. 19°20'50.39"N Long. 96°52'53.06"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Los Pescados es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen derecha con longitud de 3.2 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 47.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Los Pescados a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 4,067 kW para producir una energía media anual de 35.63 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera nueva Xalapa-Coatepec hasta llegar a la cabecera municipal de Coatepec con recorrido de 7.5 km, posteriormente se toma la carretera 180 hacia Tuzumapan y se continua hasta llegar a el poblado de Tlaltetela con recorrido aproximado de 39 km. El sitio de la captación se localiza a 2.5 km al noreste de Tlaltetela y la casa de máquinas a 4.5 km al noreste.

Turbinas

Tipo Francis
 Q equipado 10.30 m³/s
 Carga Bruta H_b 47.0 m
 Eficiencia Global [η_G] 0.856

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	5.15	2,033
U2	5.15	2,033
Potencia total		4,067

Estación hidrométrica

Nombre: Amatitla **Área de aforo** 616.69 km² **Factor de Ajuste** 1.00
Área de captación 616.69 km² **Se considera el total en la estación**

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	44.40	33.10	26.80	22.30	19.50	17.10	15.10	12.80	11.20	10.30		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	16.15	15.03	14.12	13.63	13.92	23.34	35.40	39.89	48.81	35.61	23.20	18.70
Vol. Escurrido [Mm³]	43.26	36.35	37.82	35.33	37.28	60.49	94.80	106.83	126.52	95.39	60.13	50.08
Vol. Turbinado [Mm³]	27.59	24.92	27.59	26.70	27.59	26.70	27.59	27.59	26.70	27.59	26.70	27.59
Vol. Aprovechado [%]	63.76	68.55	72.95	75.57	74.01	44.14	29.10	25.82	21.10	28.92	44.40	55.08
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110
Generación												
Potencia media en MW	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	3.03	2.73	3.03	2.93	3.03	2.93	3.03	3.03	2.93	3.03	2.93	3.03
Generación media anual	35.63 GWh											

Casa de máquinas

Tipo Exterior **Ancho** 7.00 m **Largo** 12.00 m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión: 1.00 km
Longitud de caminos de acceso: 1.50 km

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto **Tlaltetela** **No.** 14

Ubicación Estado de Veracruz **Municipio** Tlaltetela
Cuenca general Río La Antigua **Corriente aprovechada** Río Los Pescados
Localización en cartas INEGI E14B37
Localización geográfica de la captación Lat. 19°18'53.09"N Long. 96°55'17.59"O
Localización geográfica casa de máquinas Lat. 19°19'54.91"N Long. 96°54'6.64"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Los Pescados es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen derecha con longitud de 3.2 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 40.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Los Pescados a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 3,461 kW para producir una energía media anual de 30.32 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera nueva Xalapa-Coatepec hasta llegar a la cabecera municipal de Coatepec con recorrido de 7.5 km, posteriormente se toma la carretera 180 hacia Tuzumapan y se continua hasta llegar a el poblado de Tlaltetela con recorrido aproximado de 39 km. El sitio de la captación se localiza a 1.5 km al oeste de Tlaltetela y la casa de máquinas a 2.2 km al norte.

Turbinas

Tipo Francis
 Q equipado 10.30 m³/s
 Carga Bruta H_b 40.0 m
 Eficiencia Global [η_G] 0.856

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	5.15	1,731
U2	5.15	1,731
Potencia total		3,461

Estación hidrométrica

Nombre: Amatitla **Área de aforo** 616.69 km² **Factor de Ajuste** 1.00
Área de captación 616.69 km² **Se considera el total en la estación**

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	44.40	33.10	26.80	22.30	19.50	17.10	15.10	12.80	11.20	10.30		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	16.15	15.03	14.12	13.63	13.92	23.34	35.40	39.89	48.81	35.61	23.20	18.70
Vol. Escurrido [Mm³]	43.26	36.35	37.82	35.33	37.28	60.49	94.80	106.83	126.52	95.39	60.13	50.08
Vol. Turbinado [Mm³]	27.59	24.92	27.59	26.70	27.59	26.70	27.59	27.59	26.70	27.59	26.70	27.59
Vol. Aprovechado [%]	63.76	68.55	72.95	75.57	74.01	44.14	29.10	25.82	21.10	28.92	44.40	55.08
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093	0.093
Generación												
Potencia media en MW	3.461	3.461	3.461	3.461	3.461	3.461	3.461	3.461	3.461	3.461	3.461	3.461
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	2.58	2.33	2.58	2.49	2.58	2.49	2.58	2.58	2.49	2.58	2.49	2.58
Generación media anual	30.32 GWh											

Casa de máquinas

Tipo Exterior Ancho 7.00 m Largo 10.00 m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión: 1.70 km
Longitud de caminos de acceso: 1.30 km

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto **Monte Chico** **No.** 15

Ubicación Estado de Veracruz **Municipio** Tlaltetela
Cuenca general Río La Antigua **Corriente aprovechada** Río Los Pescados
Localización en cartas INEGI E14B37
Localización geográfica de la captación Lat. 19°17'51.76"N Long. 96°56'48.13"O
Localización geográfica casa de máquinas Lat. 19°18'33.18"N Long. 96°55'31.11"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Los Pescados es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen derecha con longitud de 3.4 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 52.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Los Pescados a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 4,500 kW para producir una energía media anual de 39.42 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera nueva Xalapa-Coatepec hasta llegar a la cabecera municipal de Coatepec con recorrido de 7.5 km, posteriormente se toma la carretera 180 hacia Tuzumapan y se continua hasta llegar a el poblado de Tlaltetela con recorrido aproximado de 39 km. El sitio de la captación se localiza a 5.0 km al suroeste de Tlaltetela y la casa de máquinas a 2.2 km al suroeste.

Turbinas

Tipo Francis
 Q equipado 10.30 m³/s
 Carga Bruta H_b 52.0 m
 Eficiencia Global [η_G] 0.856

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	5.15	2,250
U2	5.15	2,250
Potencia total		4,500

Estación hidrométrica

Nombre: Amatitla **Área de aforo** 616.69 km² **Factor de Ajuste** 1.00
Área de captación 616.69 km² **Se considera el total en la estación**

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	44.40	33.10	26.80	22.30	19.50	17.10	15.10	12.80	11.20	10.30		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	16.15	15.03	14.12	13.63	13.92	23.34	35.40	39.89	48.81	35.61	23.20	18.70
Vol. Escurrido [Mm³]	43.26	36.35	37.82	35.33	37.28	60.49	94.80	106.83	126.52	95.39	60.13	50.08
Vol. Turbinado [Mm³]	27.59	24.92	27.59	26.70	27.59	26.70	27.59	27.59	26.70	27.59	26.70	27.59
Vol. Aprovechado [%]	63.76	68.55	72.95	75.57	74.01	44.14	29.10	25.82	21.10	28.92	44.40	55.08
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.121	0.121	0.121	0.121	0.121	0.121	0.121	0.121	0.121	0.121	0.121	0.121
Generación												
Potencia media en MW	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	3.35	3.02	3.35	3.24	3.35	3.24	3.35	3.35	3.24	3.35	3.24	3.35
Generación media anual	39.42 GWh											

Casa de máquinas

Tipo Exterior **Ancho** 7.00 m **Largo** 12.00 m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión: 1.30 km
Longitud de caminos de acceso: 1.20 km

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto **Amatitla** **No. 16**

Ubicación Estado de Veracruz **Municipio** Tlaltetela
Cuenca general Río La Antigua **Corriente aprovechada** Río Los Pescados
Localización en cartas INEGI E14B37
Localización geográfica de la captación Lat. 19°17'26.12"N Long. 96°58'11.40"O
Localización geográfica casa de máquinas Lat. 19°17'50.71"N Long. 96°57'0.27"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Los Pescados es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen derecha con longitud de 2.7 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 47.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Los Pescados a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 4,067 kW para producir una energía media anual de 35.63 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera nueva Xalapa-Coatepec hasta llegar a la cabecera municipal de Coatepec con recorrido de 7.5 km, posteriormente se toma la carretera 180 hacia Tuzumapan y se continua hasta llegar a el poblado de Tlaltetela con recorrido aproximado de 39 km. El sitio de la captación se localiza a 7.3 km al suroeste de Tlaltetela y la casa de máquinas a 5.3 km al suroeste.

Turbinas

Tipo Francis
 Q equipado 10.30 m³/s
 Carga Bruta H_b 47.0 m
 Eficiencia Global [η_G] 0.856

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	5.15	2,033
U2	5.15	2,033
Potencia total		4,067

Estación hidrométrica

Nombre: Amatitla **Área de aforo** 616.69 km² **Factor de Ajuste** 1.00
Área de captación 616.69 km² **Se considera el total en la estación**

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	44.40	33.10	26.80	22.30	19.50	17.10	15.10	12.80	11.20	10.30		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	16.15	15.03	14.12	13.63	13.92	23.34	35.40	39.89	48.81	35.61	23.20	18.70
Vol. Escurrido [Mm³]	43.26	36.35	37.82	35.33	37.28	60.49	94.80	106.83	126.52	95.39	60.13	50.08
Vol. Turbinado [Mm³]	27.59	24.92	27.59	26.70	27.59	26.70	27.59	27.59	26.70	27.59	26.70	27.59
Vol. Aprovechado [%]	63.76	68.55	72.95	75.57	74.01	44.14	29.10	25.82	21.10	28.92	44.40	55.08
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110
Generación												
Potencia media en MW	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067	4.067
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	3.03	2.73	3.03	2.93	3.03	2.93	3.03	3.03	2.93	3.03	2.93	3.03
Generación media anual	35.63 GWh											

Casa de máquinas

Tipo Exterior **Ancho** 7.00 m **Largo** 10.00 m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión: 1.30 km
Longitud de caminos de acceso: 1.40 km

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto

Villa Nueva

No. 17

Ubicación	Estado de Veracruz	Municipio	Ixhuacán de Los Reyes
Cuenca general	Río La Antigua	Corriente aprovechada	Río Huixtlapan
Localización en cartas INEGI			E14B36
Localización geográfica de la captación		Lat. 19°19'19.18"N	Long. 97° 2'33.16"O
Localización geográfica casa de máquinas		Lat. 19°18'54.00"N	Long. 97° 1'21.03"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Huixtlapan es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen derecha con longitud de 2.4 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 53.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Huixtlapan a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 2,868 kW para producir una energía media anual de 25.13 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera nueva Xalapa-Coatepec hasta llegar a la cabecera municipal de Coatepec con recorrido de 7.5 km, posteriormente se toma la desviación a Xico para llegar a San Marcos de León, se continúa por la carretera Xalapa-Teocelo hasta llegar a el poblado de Cosautlan de Carvajal con recorrido aproximado de 27 km. El sitio de la captación se localiza a 4.5 km al suroeste de Cosautlan de Carvajal y la casa de máquinas a 3.7 km al suroeste.

Turbinas

Tipo	Francis	
Q equipado	6.44	m ³ /s
Carga Bruta H _b	53.0	m
Eficiencia Global [η _G]	0.856	

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	3.22	1,434
U2	3.22	1,434
Potencia total		2,868

Estación hidrométrica

Nombre: Amatitla	Área de aforo	616.69	km ²	Factor de Ajuste	0.63
	Área de captación	385.69	km ²		

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	27.77	20.70	16.76	13.95	12.20	10.69	9.44	8.01	7.00	6.44		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	10.10	9.40	8.83	8.52	8.70	14.59	22.14	24.95	30.53	22.27	14.51	11.69
Vol. Escurrido [Mm³]	27.06	22.73	23.65	22.10	23.31	37.83	59.29	66.82	79.13	59.66	37.61	31.32
Vol. Turbinado [Mm³]	17.25	15.58	17.25	16.70	17.25	16.70	17.25	17.25	16.70	17.25	16.70	17.25
Vol. Aprovechado [%]	63.76	68.55	72.95	75.57	74.01	44.14	29.10	25.82	21.10	28.92	44.40	55.08
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124	0.124
Generación												
Potencia media en MW	2.868	2.868	2.868	2.868	2.868	2.868	2.868	2.868	2.868	2.868	2.868	2.868
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	2.13	1.93	2.13	2.07	2.13	2.07	2.13	2.13	2.07	2.13	2.07	2.13
Generación media anual	25.13 GWh											

Casa de máquinas

Tipo	Exterior	Ancho	6.00	m	Largo	9.00	m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión:					2.00	km	
Longitud de caminos de acceso:					0.70	km	

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto **Camujapan** **No. 18**

Ubicación Estado de Veracruz **Municipio** Ixhuacán de Los Reyes
Cuenca general Río La Antigua **Corriente aprovechada** Río Huixtlapan
Localización en cartas INEGI E14B36
Localización geográfica de la captación Lat. 19°18'34.09"N Long. 97° 3'39.14"O
Localización geográfica casa de máquinas Lat. 19°19'10.72"N Long. 97° 2'47.33"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Huixtlapan es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen izquierda con longitud de 1.9 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 57.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Huixtlapan a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 1,930 kW para producir una energía media anual de 16.90 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera nueva Xalapa-Coatepec hasta llegar a la cabecera municipal de Coatepec con recorrido de 7.5 km, posteriormente se toma la desviación a Xico para llegar a San Marcos de León, se continúa por la carretera Xalapa-Teocelo hasta llegar a el poblado de Cosautlan de Carvajal con recorrido aproximado de 27 km. El sitio de la captación se localiza a 7.8 km al suroeste de Cosautlan de Carvajal y la casa de máquinas a 6.1 km al suroeste.

Turbinas

Tipo Francis
 Q equipado 4.03 m³/s
 Carga Bruta H_b 57.0 m
 Eficiencia Global [η_G] 0.856

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	2.01	965
U2	2.01	965
Potencia total		1,930

Estación hidrométrica

Nombre: Amatitla **Área de aforo** 616.69 km² **Factor de Ajuste** 0.39
Área de captación 241.27 km²

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	17.37	12.95	10.49	8.72	7.63	6.69	5.91	5.01	4.38	4.03		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	6.32	5.88	5.52	5.33	5.45	9.13	13.85	15.61	19.10	13.93	9.08	7.32
Vol. Escurrido [Mm³]	16.93	14.22	14.80	13.82	14.58	23.66	37.09	41.80	49.50	37.32	23.53	19.59
Vol. Turbinado [Mm³]	10.79	9.75	10.79	10.45	10.79	10.45	10.79	10.79	10.45	10.79	10.45	10.79
Vol. Aprovechado [%]	63.76	68.55	72.95	75.57	74.01	44.14	29.10	25.82	21.10	28.92	44.40	55.08
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133
Generación												
Potencia media en MW	1.930	1.930	1.930	1.930	1.930	1.930	1.930	1.930	1.930	1.930	1.930	1.930
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	1.44	1.30	1.44	1.39	1.44	1.39	1.44	1.44	1.39	1.44	1.39	1.44
Generación media anual	16.90 GWh											

Casa de máquinas

Tipo Exterior Ancho 6.00 m Largo 9.00 m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión: 2.00 km
Longitud de caminos de acceso: 0.70 km

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto **Barranca Grande** **No. 19**

Ubicación Estado de Veracruz **Municipio** Ixhuacán de Los Reyes
Cuenca general Río La Antigua **Corriente aprovechada** Río Los Ajolotes
Localización en cartas INEGI E14B36
Localización geográfica de la captación Lat. 19°19'8.52"N Long. 97° 3'48.34"O
Localización geográfica casa de máquinas Lat. 19°19'14.70"N Long. 97° 2'44.26"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Los Ajolotes es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen derecha con longitud de 1.5 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 179.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Pelton, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Los Ajolote a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 3,331 kW para producir una energía media anual de 29.18 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera nueva Xalapa-Coatepec hasta llegar a la cabecera municipal de Coatepec con recorrido de 7.5 km, posteriormente se toma la desviación a Xico para llegar a San Marcos de León, se continúa por la carretera Xalapa-Teocelo hasta llegar a el poblado de Cosautlan de Carvajal con recorrido aproximado de 27 km. El sitio de la captación se localiza a 7.7 km al suroeste de Cosautlan de Carvajal y la casa de máquinas a 5.8 km al suroeste.

Turbinas

Tipo Pelton
 Q equipado 2.21 m³/s
 Carga Bruta H_b 179.0 m
 Eficiencia Global [η_G] 0.856

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	1.11	1,665
U2	1.11	1,665
Potencia total		3,331

Estación hidrométrica

Nombre: Amatitla **Área de aforo** 616.69 km² **Factor de Ajuste** 0.22
Área de captación 132.61 km²

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	9.55	7.12	5.76	4.80	4.19	3.68	3.25	2.75	2.41	2.21		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	3.47	3.23	3.04	2.93	2.99	5.02	7.61	8.58	10.50	7.66	4.99	4.02
Vol. Escurrido [Mm³]	9.30	7.82	8.13	7.60	8.02	13.01	20.39	22.97	27.21	20.51	12.93	10.77
Vol. Turbinado [Mm³]	5.93	5.36	5.93	5.74	5.93	5.74	5.93	5.93	5.74	5.93	5.74	5.93
Vol. Aprovechado [%]	63.76	68.55	72.95	75.57	74.01	44.14	29.10	25.82	21.10	28.92	44.40	55.08
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.418	0.418	0.418	0.418	0.418	0.418	0.418	0.418	0.418	0.418	0.418	0.418
Generación												
Potencia media en MW	3.331	3.331	3.331	3.331	3.331	3.331	3.331	3.331	3.331	3.331	3.331	3.331
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	2.48	2.24	2.48	2.40	2.48	2.40	2.48	2.48	2.40	2.48	2.40	2.48
Generación media anual	29.18 GWh											

Casa de máquinas

Tipo Exterior **Ancho** 7.00 m **Largo** 10.00 m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión: 0.50 km
Longitud de caminos de acceso: 0.70 km

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto

Palma Sola

No. 20

Ubicación	Estado de Veracruz	Municipio	Quimixtlán
Cuenca general	Río La Antigua	Corriente aprovechada	Río Huixtlapan
Localización en cartas INEGI			
Localización geográfica de la captación	Lat. 19°16'52.79"N	Long.	97° 73.39"O
Localización geográfica casa de máquinas	Lat. 19°17'23.77"N	Long.	97° 5'19.51"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Huixtlapan es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen derecha con longitud de 3.6 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 185.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Francis, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Huixtlapan a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 5,062 kW para producir una energía media anual de 44.34 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera nueva Xalapa-Coatepec hasta llegar a la cabecera municipal de Coatepec con recorrido de 7.5 km, posteriormente se toma la desviación a Xico para llegar a San Marcos de León, se continúa por la carretera Xalapa-Teocelo hasta llegar a la cabecera municipal de Quimixtlán Puebla, con recorrido aproximado de 45 km. El sitio de la captación se localiza a 3.6 km al noreste de Quimixtlán y la casa de máquinas a 6.4 km al suroeste.

Turbinas

Tipo	Francis		
Q equipado	3.26	m ³ /s	
Carga Bruta H _b	185.0	m	
Eficiencia Global [η _G]	0.856		

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	1.63	2,531
U2	1.63	2,531
Potencia total		5,062

Estación hidrométrica

Nombre: Amatitla	Área de aforo	616.69	km ²	Factor de Ajuste	0.32
	Área de captación	194.99	km ²		

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	14.04	10.47	8.47	7.05	6.17	5.41	4.77	4.05	3.54	3.26		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	5.11	4.75	4.46	4.31	4.40	7.38	11.19	12.61	15.43	11.26	7.34	5.91
Vol. Escurrido [Mm³]	13.68	11.49	11.96	11.17	11.79	19.13	29.98	33.78	40.01	30.16	19.01	15.84
Vol. Turbinado [Mm³]	8.72	7.88	8.72	8.44	8.72	8.44	8.72	8.72	8.44	8.72	8.44	8.72
Vol. Aprovechado [%]	63.76	68.55	72.95	75.57	74.01	44.14	29.10	25.82	21.10	28.92	44.40	55.08
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.432	0.432	0.432	0.432	0.432	0.432	0.432	0.432	0.432	0.432	0.432	0.432
Generación												
Potencia media en MW	5.062	5.062	5.062	5.062	5.062	5.062	5.062	5.062	5.062	5.062	5.062	5.062
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	3.77	3.40	3.77	3.64	3.77	3.64	3.77	3.77	3.64	3.77	3.64	3.77
Generación media anual	44.34 GWh											

Casa de máquinas

Tipo	Exterior	Ancho	7.00	m	Largo	12.00	m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión:					1.00	km	
Longitud de caminos de acceso:					1.00	km	

4. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO EN LA CUENCA

Proyecto **Quimixtlán** **No. 21**

Ubicación Estado de Veracruz **Municipio** Quimixtlán
Cuenca general Río La Antigua **Corriente aprovechada** Río Huixtlapan
Localización en cartas INEGI
Localización geográfica de la captación Lat. 19°15'2.01"N Long. 97° 9'56.25"O
Localización geográfica casa de máquinas Lat. 19°15'17.51"N Long. 97° 8'55.19"O

Esquema Conceptual

La corriente del río Huixtlapan es captada mediante una presa de gaviones de 2.5 m de altura y una toma directa, el agua es conducida hacia un canal a cielo abierto sobre la margen izquierda con longitud de 2.0 km. El agua que transporta el canal descarga a un tanque de carga para aprovechar un desnivel de 160.0 m, del tanque de carga arrancan dos tuberías de acero para alimentar a dos turbinas tipo Pelton, alojadas en una casa de máquinas exterior. El agua utilizada es restituida nuevamente al río Huixtlapan a través de un canal de desfogue. La potencia instalable es de 2,939 kW para producir una energía media anual de 25.75 GWh, con un factor de planta medio anual de 1.0.

Acceso

Para llegar al sitio partiendo de Xalapa Enríquez, Veracruz, se toma la carretera nueva Xalapa-Coatepec hasta llegar a la cabecera municipal de Coatepec con recorrido de 7.5 km, posteriormente se toma la desviación a Xico para llegar a San Marcos de León, se continua por la carretera Xalapa-Teocelo hasta llegar a la cabecera municipal de Quimixtlán Puebla, con recorrido aproximado de 45 km. El sitio de la captación se localiza a 3.0 km al suroeste de Quimixtlán y la casa de máquinas a 1.2 km al oeste.

Turbinas

Tipo Francis
 Q equipado 2.19 m³/s
 Carga Bruta H_b 160.0 m
 Eficiencia Global [η_G] 0.856

Unidad	Gasto m ³ /s	Potencia kW
U1	1.09	1,470
U2	1.09	1,470
Potencia total		2,939

Estación hidrométrica

Nombre: Amatitla Área de aforo 616.69 km² Factor de Ajuste 0.21
Área de captación 130.92 km²

Estudio Hidroenergético

Permanencia [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95		
Gasto [m³/s]	9.43	7.03	5.69	4.73	4.14	3.63	3.21	2.72	2.38	2.19		
Mes del año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gasto disponible [m³/s]	3.43	3.19	3.00	2.89	2.95	4.95	7.51	8.47	10.36	7.56	4.92	3.97
Vol. Escurrido [Mm³]	9.18	7.72	8.03	7.50	7.91	12.84	20.13	22.68	26.86	20.25	12.77	10.63
Vol. Turbinado [Mm³]	5.86	5.29	5.86	5.67	5.86	5.67	5.86	5.86	5.67	5.86	5.67	5.86
Vol. Aprovechado [%]	63.76	68.55	72.95	75.57	74.01	44.14	29.10	25.82	21.10	28.92	44.40	55.08
Factor de gen. F_g [kW/m³]	0.373	0.373	0.373	0.373	0.373	0.373	0.373	0.373	0.373	0.373	0.373	0.373
Generación												
Potencia media en MW	2.939	2.939	2.939	2.939	2.939	2.939	2.939	2.939	2.939	2.939	2.939	2.939
Factor de planta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Generación media GWh	2.19	1.98	2.19	2.12	2.19	2.12	2.19	2.19	2.12	2.19	2.12	2.19
Generación media anual	25.75 GWh											

Casa de máquinas

Tipo Exterior Ancho 6.00 m Largo 10.00 m
Longitud necesaria de línea de transmisión para interconexión: 1.25 km
Longitud de caminos de acceso: 0.70 km

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El desarrollo de este estudio ha permitido identificar 21 proyectos hidroeléctricos, con clasificación de pequeñas-centrales hidroeléctricas, con una potencia instalable de 74.259 MW y energía firme de 650.52 GWh; asimismo los proyectos se consideran con las características suficientes para ser considerados como sustentables y de energía renovable. Es importante mencionar que el potencial aquí identificado está claramente definido y se cuenta con una propuesta técnica. Los resultados y las características de este trabajo permiten ser una base para tomar decisiones posteriores en la planeación de proyectos de energías renovables, lo que hace posible considerarlo en diferentes sectores relacionados con las energías renovables.

En materia de sustentabilidad y energía renovable, y de acuerdo al marco jurídico nacional, los proyectos se han concebido tomando los principios fundamentales para proyectos hidroeléctricos. Aunque se ha presentado una propuesta para satisfacer el tema de sustentabilidad y energía renovable, esta no es limitativa, y en el horizonte de planeación (etapas posteriores de investigación), la sustentabilidad y energía renovable puede ajustarse de diferentes formas de acuerdo a las características propias de cada proyecto.

La propuesta técnica para el aprovechamiento del recurso hidroeléctrico solo ha considerado proyectos que están en la clasificación de pequeñas-centrales hidroeléctricas, y se trató de lograr el máximo aprovechamiento del potencial hidroeléctrico con las limitaciones planteadas según el objetivo del estudio. Sin embargo con una mejor topografía es posible identificar potencial micro y mini hidroeléctrico que puede satisfacer necesidades básicas en pequeñas comunidades.

La viabilidad financiera es un tema relevante, pues generalmente los problemas financieros son los que imponen las condiciones de continuar o no en etapas posteriores. Aunque no se desarrolló un estudio financiero, el buscar optimizar recursos como el aprovechamiento de infraestructura que rodea a los proyectos, y aun con más relevancia el plantear a los proyectos como sustentables y de energía renovable, asegura mejorar considerablemente la viabilidad financiera, pues los proyectos pueden ajustarse a los mecanismos de desarrollo limpio y ser acreedores a apoyos económicos importantes.

RECOMENDACIONES

El trabajo aquí desarrollado corresponde a un estudio de identificación de potencial hidroeléctrico, por lo cual es menester profundizar los estudios. En general para poder llevar a un buen fin los proyectos es necesario tener presente el objetivo general de los proyectos, sustentabilidad y energía renovable, además de los aspectos técnicos que los envuelven.

La sustentabilidad y energía renovable, es el principal objetivo que deben satisfacer los proyectos, asimismo el cumplimiento del marco jurídico aplicable asegura un buen fin de proyecto en esta cuestión. Dentro de la sustentabilidad y sus tres ejes, el económico es el de mayor incertidumbre debido a los alcances aquí planteados. El recurso hidroeléctrico es promotor del desarrollo en la región, lo que hace necesario realizar estudios demográficos y económicos en la cuenca para poder plantear diferentes escenarios en el aprovechamiento óptimo de este recurso y cumplir con el eje de sustentabilidad económico.

En el caso de los aspectos técnicos, se requiere profundizar los estudios de topografía, geología, hidráulica, estructurales, infraestructura, equipos electromecánicos, entre los más importantes. Un punto de relevancia es la ubicación del potencial hidroeléctrico, pues en la mayoría de los casos supera la demanda media en el municipio en el que se localiza, lo que abre la posibilidad de realizar estudios de factibilidad de construcción de infraestructura de

transmisión eléctrica y aprovechar los excedentes de energía en otros municipios, como es el caso de Veracruz o Xalapa, que son de los municipios con mayor consumo de energía eléctrica en la cuenca.

REFERENCIAS

1. EUROPEAN SMALL HYDROPOWER ASSOCIATION. Manual de pequeña hidráulica: *Como llevar a buen fin un proyecto de minicentral hidroeléctrica*. Bélgica, DG XVII comisión europea, 1998.
2. GARCÍA G, HÉCTOR. *Apuntes de selección de turbinas hidráulicas*. México, Facultad de Ingeniería UNAM, 1985.
3. GARDEA VILLEGAS, HUMBERTO. *Aprovechamientos hidroeléctricos y de bombeo*. México, Trillas, Facultad de Ingeniería UNAM, 1992.
4. INGENIERÍA, ESTUDIOS Y PROYECTOS NIP, S.A. ENTE VASCO DE LA ENERGÍA. *Minihidráulica en el país Vasco*. Bilbao, EVE, 1995.
5. INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA. Manual de energías renovables: *Tomo 6 Minicentrales hidroeléctricas*. Madrid, IDEA, 2006.
6. MATAIX, CLAUDIO. *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. México, Harla, 1982.
7. PEREYRA DÍAZ, DOMITILLO, CRUZ GUADALUPE Y PÉREZ JOSÉ. “La Evapotranspiración Real en la cuenca del río La Antigua, Veracruz: estado actual y ante escenarios de cambio climático”. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. México, Núm. 75, 2011, pp. 37-50.
8. SECRETARÍA DE ENERGÍA. *Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026*. México, SENER, 2012.
9. SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, SUBSECRETARÍA DE GESTIÓN PARA LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE, DIRECCIÓN GENERAL DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTA. *Reflexiones y acciones para el desarrollo turístico sostenible, derivadas de la Evaluación de Impacto Ambiental en el Caribe Mexicano: Sistema ambiental Punta Bete - Punta Maroma*, México, SEMARNAT, 2006.