



# **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO  
TECNOLÓGICO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

## **T E S I S**

### **DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN EL RÍO SAN VICENTE, APLICABLE SU USO EN ZONA RURAL**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN MATERIALES Y SISTEMAS ENERGÉTICOS  
RENOVABLES**

**PRESENTA  
REINIER FENTON PEÑALVER**

**DIRECTOR:  
NEÍN FARRERA VÁZQUEZ**

<b>INDICE</b>	<b>PÁGINAS</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	I
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	II
<b>INDICE DE TABLAS</b>	IV
<b>INDICE DE GRÁFICOS</b>	V
<b>REFERENCIA DE IMÁGENES</b>	V
<b>RESUMEN</b>	VIII
<b>CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1 Introducción general	2
1.2 Problemática	3
1.3 Objetivo general	4
1.4 Objetivos específicos	4
1.5 Justificación	5
<b>CAPITULO 2. ANTECEDENTES</b>	7
2.1 Introducción del capítulo	8
2.2 Origen de la hidroenergía	8
2.3 Surgimiento del aprovechamiento de la energía hidráulica	9
2.4 Principios de aprovechamiento de la energía hidráulica	13
2.5 Surgimiento de la hidroelectricidad en el mundo	14
2.6 Potencial hidroenergetico en el mundo	15
2.7 Desarrollo de la hidrogenación en el mundo.	17
2.8 Desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas.	19
2.9 Surgimiento de la hidroelectricidad en México.	22
2.10 Potencial hidroenergetico en México.	23
2.11 Hidrogenación en México.	24
2.12 Surgimiento de la hidroelectricidad en Chiapas.	26
2.13 Potencial hidroenergetico en Chiapas	27
2.14 Hidrogenación en Chiapas.	28
2.15 Conclusiones del capitulo	30

<b>CAPITULO 3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	<b>31</b>
3.1 Introducción al capítulo	32
3.2 Conocimientos básicos hidráulicos.	32
3.3 Principios teóricos sobre la energía y principio de conservación de la energía.	35
3.4 Fundamentos hidráulicos y su aprovechamiento.	37
3.5 Métodos para determinar caudal (Q)	40
3.5.1 Métodos directos	40
3.5.1.1 Método área- velocidad.	40
3.5.1.2 Dilución con trazadores.	42
3.5.2 Métodos indirectos o empíricos.	44
3.5.2.1 Métodos envolventes.	44
3.5.2.2 Fórmula racional.	45
3.6 Turbinas hidráulicas.	45
3.7 Potencial hidráulico	48
3.8 Conclusiones del capítulo	49
<b>CAPITULO 4. METODOLOGÍA</b>	<b>50</b>
4.1 Introducción al capítulo	51
4.2 Área de estudio	52
4.3 Caracterización hidrográfica y geomorfológica de la cuenca	54
4.3.1 Curva de la cota superficie	54
4.3.2 Perfil y pendiente del cauce.	55
4.3.3 Red de drenaje.	56
4.3.4 Densidad de drenaje.	57
4.3.5 Caracterización fisiográfica.	58
4.4 Determinación del caudal.	59
4.4.1 Calculo del caudal por método indirecto o empírico.	60
4.4.2 Determinar el caudal por el método directo de aforo con molinete.	62
4.5 Definir donde existan saltos hidráulicos y sus características.	65

4.6 Cálculo del potencial hidráulico	67
4.7 Seleccionar y proponer los hidrogeneradores que se ajusten a los resultados de la obtención del potencial hidroenergético.	67
4.8 Conclusiones	71
<b>CAPITULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>72</b>
5.1 Introducción al capítulo	73
5.2 Caracterización de área de estudio	73
5.3 Caracterización hidrográfica y geomorfológica de la cuenca Gráfico de la curva hipsométrica	74
5.4 Cálculo del caudal por el método lluvia – escurrimiento, utilizando la distribución de Gumbel.	75
5.5 Cálculo del gasto por el método directo de aforo sección área velocidad.	79
5.6 Localización de los saltos hidráulicos y sus características.	83
5.6.1 Puntos seleccionados para determinar el potencial hidráulico	85
5.6.1.1- Salto Hidráulico, Cascada el Suspiro	85
5.6.1.2 Salto Hidráulico, Ala del Ángel	87
5.6.1.3 Punto de referencia para evaluar el potencial hidráulico, desde el Salto hidráulico el Suspiro y Ala del Ángel.	89
5.7 Determinación del potencial hidráulico	90
5.8 Selección y proposición del hidrogenerador (turbina).	90
5.8.1 Selección del Hidrogenerador	90
5.8.2 Propuesta del hidrogenerador	94
5.9 Conclusiones	94
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>96</b>
Conclusiones	97
Recomendaciones	100
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>101</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>109</b>

# **CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN**

## 1.1 Introducción general

La energía que se obtiene del aprovechamiento de la energía cinética y potencial, de una corriente de agua, salto o mareas, se denomina energía hidráulica, energía hídrica o hidroenergía. Es considerada una forma de energía renovable y es un tipo de energía verde cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla [22].

La energía hidráulica se basa en aprovechar la caída del agua desde algún punto con cierta diferencia de altura donde la energía potencial ( $E_p$ ) durante la caída se transforma en energía cinética ( $E_c$ ). Esta transformación tiene múltiples aplicaciones; se destaca la producción de energía eléctrica, donde el parámetro determinante es el potencial hidráulico ( $P$ ). Para su determinación distintos autores proponen una variedad de métodos donde intervienen: la altura o desnivel ( $m$ ), caudal ( $Q$ ) en  $m^3/s$  y la densidad ( $\rho$ ) en  $kg/m^3$ . Estos parámetros son determinados en el trayecto de los ríos [22].

Para aprovechar el potencial hidráulico en la generación de energía eléctrica, se requiere de un salto de agua en el curso de un río, arroyo o represar. Este potencial es un recurso natural en zonas de topografía accidentada y lluviosa, además es recomendable que estos ríos tengan cauce poco variable. En caso de ríos con caudales oscilantes se puede represar durante la temporada de secas [22].

En todo el mundo, la hidroelectricidad representa aproximadamente la cuarta parte de la producción total de electricidad, y su importancia sigue en aumento. Los países en los que constituye una fuente de electricidad más importante son Noruega (99 %), Zaire (97 %) y Brasil (96 %). En algunos países se han instalado centrales pequeñas, con capacidad para generar entre un kilovatio y un megavatio [20].

En México solo se aprovecha el 22 % del potencial hidroeléctrico del país. No obstante, a nivel nacional, el 21 % de la electricidad producida proviene del sector hidroenergético. Algunas de las presas más significativas por la cantidad de megawatts (MW) producidos en un año, son El Cajón Nayarit, con 750 MW y en el Estado

de Chiapas, la presa Chicoasén con 2,400 MW, la cual se considera la cuarta presa hidroenergética más productiva del mundo [45] .

El estado de Chiapas tiene características idóneas para la producción hidroenergética ya que concentra el 30 % del agua superficial de todo el país. Los flujos de al menos unos 50 ríos que existen en la entidad tienen un alto potencial hídrico, debido a las pendientes y los caudales que estos presentan. En los municipios de Tzimol y Socoltenango, se localiza el Río San Vicente, el cual pertenece a la Región hidrológica # 30 Grijalva - Usumacinta, a la cuenca Aguacatenco posee características hidráulicas similares a las antes mencionadas, por lo cual será objeto de estudio en este trabajo [10]. Para el llevar a cabo el mismo será necesario desde un inicio el estudio hidrológico del área seleccionada, así como la información hidrológica que está registrada en las entidades dedicados y autorizados a este tipo de actividad, para posteriormente poder definir los parámetros que se necesitan determinar por sus métodos correspondientes que son el caudal hidroenergético y comportamiento topográfico que posea mayor y más adecuado desnivel; y finalmente se decidirá qué tipo de turbina será la mejor opción que se ajuste a los resultados. Para obtener con finalidad la caracterización del área de estudio, el caudal, potencial hidráulico y el hidrogenerador ajustado a los parámetros antes mencionados.

## **1.2 Problemática**

En el Estado de Chiapas las limitaciones al servicio eléctrico han propiciado que las comunidades rurales recurran a fuentes para producción de iluminación o electricidad más dañinas para la salud y al medio ambiente como el queroseno, gasóleos (diésel) y otras lámparas de gas [14]. La compra de dichos combustibles afecta sensiblemente su economía [13]. Otra alternativa son baterías y alternadores de automóviles, entre otros aparatos con pilas para poder proveer de energía a un par de focos, una televisión o un pequeño radio. Estas alternativas tienen una consecuencia importante en costo, seguridad y daño al medio ambiente, por lo que

es de importancia nacional generar herramientas técnicas que busquen opciones en la producción de electricidad a partir de fuentes renovables limpias y que su localización sea regional [14].

En específico en el área cercana al río San Vicente se ubican 1,890 viviendas repartidas en 17 comunidades, 567 viviendas poseen electricidad con bajo voltaje y 21 no cuentan con el servicio. La ubicación de dichas viviendas es dispersa, lo que impide su electrificación por el método convencional. A la fecha no ha habido acción por parte de las entidades gubernamentales en busca de una solución o alternativa en beneficio de estas personas, principalmente porque se basan en la opinión de los altos costos de infraestructura en instalación [26].

En su mayoría, dichas comunidades se localizan cerca del río donde lo utilizan como fuente principal de abasto de agua y para sus funciones vitales, pero sin embargo no se aprovecha en los tramos del río donde circundan las comunidades, su utilización para la generación de energía eléctrica a través de un hidrogenerador, que les permitiría beneficiarse de unos de los servicios de primera necesidad, que es la energía eléctrica [26].

### **1.3 Objetivo general**

Determinar el potencial de la energía hidráulica en el Río San Vicente para la generación de energía eléctrica y proponer el hidrogenerador adecuado a los resultados del estudio hidroenergético.

### **1.4 Objetivos específicos**

1. Caracterizar y evaluar el Río.
  - ✓ Seleccionar los cauces de caudal permanente, para conocer en los ríos que fluye el agua todo el año.
  - ✓ Determinar el promedio anual de precipitaciones, que permitirá saber el volumen de agua caído en la cuenca del río San Vicente



- ✓ Analizar las características hidrográficas y morfológicas, las cuales identificarán el tipo de relieve del área de estudio.
  - ✓ Determinar las características fisiográficas, que dará información del comportamiento de la topografía y formación geométrica de la cuenca.
2. Determinar el caudal y potencial hidráulico.
- ✓ Aforar del río, donde se obtendrá el caudal medio utilizable del río.
  - ✓ Medir los desniveles, donde existan saltos hidráulicos, para determinar las caídas de aguas con mayor altura y con fácil acceso.
  - ✓ Calcular del potencial, para conocer la disponibilidad de energía hidráulica en el área de estudio.
3. Seleccionar y proponer el Hidrogenerador.
- ✓ Comparar los hidrogeneradores en cuanto a eficiencia, donde este parámetro determina el rendimiento de trabajo de cada turbina.
  - ✓ Determinar los hidrogeneradores que se ajusten los resultados de la zona de estudio, para lograr una mejor selección de esta tecnología.

### **1.5 Justificación**

A pesar de los grandes logros que ha tenido el sector energético y el desarrollo en la generación de electricidad en México, las zonas rurales nunca han sido beneficiadas; en la actualidad el 2.3 % de la población (3 millones de personas) no tiene acceso a este servicio [47].

Las zonas urbanas tienen un 98.95 % de cobertura del servicio eléctrico convencional mientras que las rurales 93.14 %, es decir, aproximadamente 45 mil comunidades rurales no cuentan con servicio eléctrico convencional. La principal causa son los altos costos de expansión de la red eléctrica, la baja población de las localidades (en su mayoría localidades de menos de 100 habitantes), la dispersión poblacional y las complicadas situaciones geográficas de dichas regiones. En el

estado de Chiapas, el 5 % de la población no tiene acceso a la electrificación convencional (suministrada por CFE) [26].

Los proyectos de grandes envergaduras que utilizan el potencial hidroenergético se enfocan en cubrir la demanda en las zonas residenciales, urbanas e industriales, por lo que no benefician a las comunidades rurales por encontrarse muy aisladas de la red de distribución. Esta situación ha motivado el surgimiento de proyectos de generación de energía a partir de fuentes renovables, como el sol, biogás, viento, potencial hídrico, entre otros, los cuales tienen una distribución local ya que dependen de las características biofísicas de cada zona [14].

En este trabajo se analiza el potencial hídrico para generación de electricidad a partir de micro turbinas, en primer lugar por la falta de servicio eléctrico en las comunidades cercanas a la zona de estudio y segundo porque las condiciones biofísicas (topografía e hidrología) del río San Vicente lo permiten. Además se ha observado una mayor aceptación en el estado de Chiapas ante los proyectos micro-hidroeléctricos en comparación con la construcción de grandes presas, ya que los primeros tienen menores afectaciones sociales y ambientales [14].

## **CAPITULO 2. ANTECEDENTES**

## **2.1 Introducción al capítulo**

Es de vital importancia conocer los primeros indicios que originaron la utilización de la energía hidráulica así como el principio de su aprovechamiento y los dispositivos usados en su momento, además de las primeras manifestaciones de generación de energía eléctrica mediante la energía del agua a nivel internacional, México y Chiapas, teniendo en cuentas los diferentes estudios ya realizados y su modernización a través de la introducción de innovadoras tecnologías en el transcurso de los años, los cuales han logrado ubicar la hidroenergía entre las primeras energías limpias de mayor demanda, esto permite ampliar y actualizar los conocimientos acerca de esta energía renovable. De este modo, debido a los objetivos planteados, mediante el análisis y el estudio de la problemática del servicio eléctrico en Chiapas, se buscará plantear a través de la Hidrogeneración una alternativa para mitigar la afectación de este servicio.

## **2.2 Origen de la hidroenergía.**

La energía del agua es un aprovechamiento indirecto de la energía solar, ya que tiene su origen en el sol, el calor del sol es el elemento fundamental que hace mover el ciclo del agua: la energía solar evapora el agua de los mares, ríos y lagos, para formar nubes que son llevadas por el viento hasta los continentes donde se transforman en precipitaciones de agua líquida (lluvia) y nieve. El agua que llega de esta forma a la superficie terrestre, aprovecha el desnivel existente hasta el mar y vuelve a este formando corrientes superficiales (ríos) o subterráneas, como se muestra en la figura 2.1 [7].

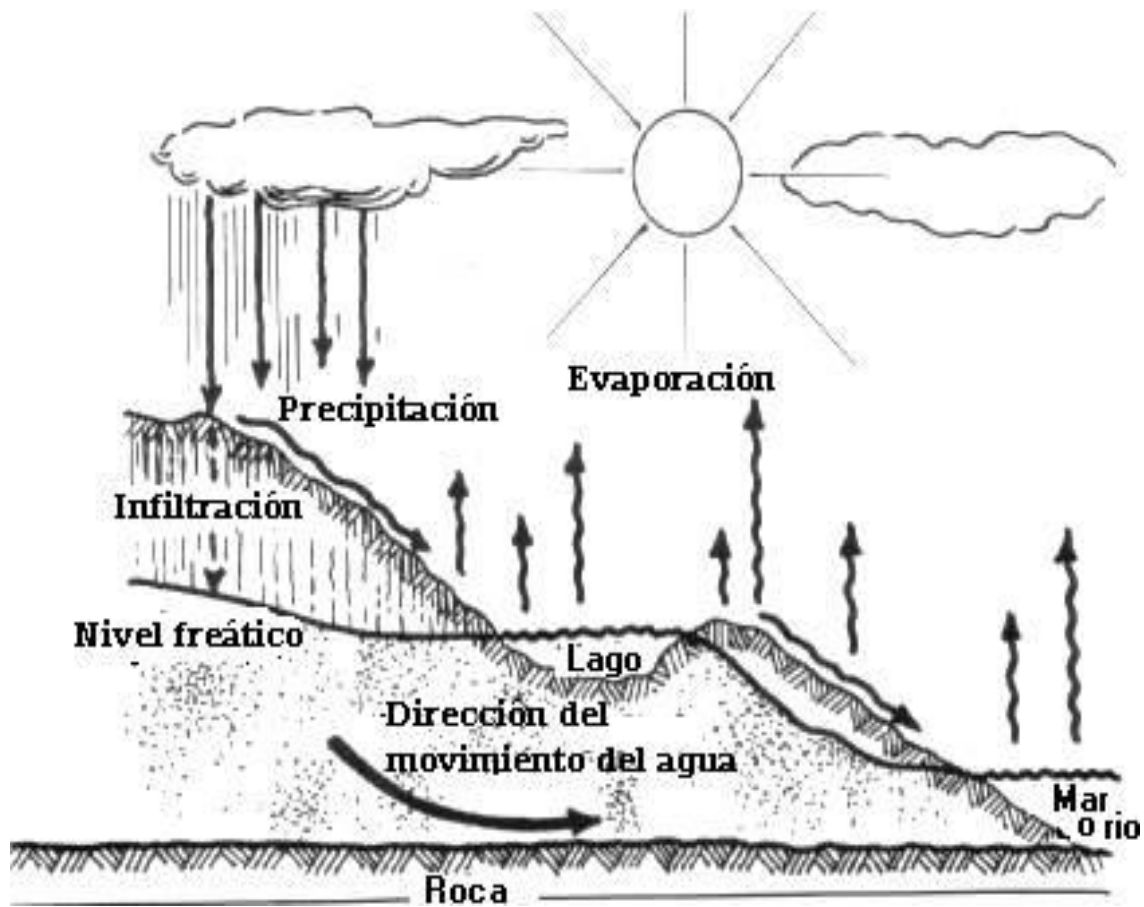


Figura. 2.1 Origen de la Energía Hidráulica [R.1]

### 2.3 Surgimiento del aprovechamiento de la energía hidráulica

El primer artificio que se inventó con el objetivo de transformar la energía cinética del agua en empuje sobre una paletas colocadas sobre una rueda, a la que se ataban recipientes capaces de elevar el agua a una altura útil para poder regar fue la Noria (ver figura 2.2), se ideó seis siglos antes de Cristo [15].

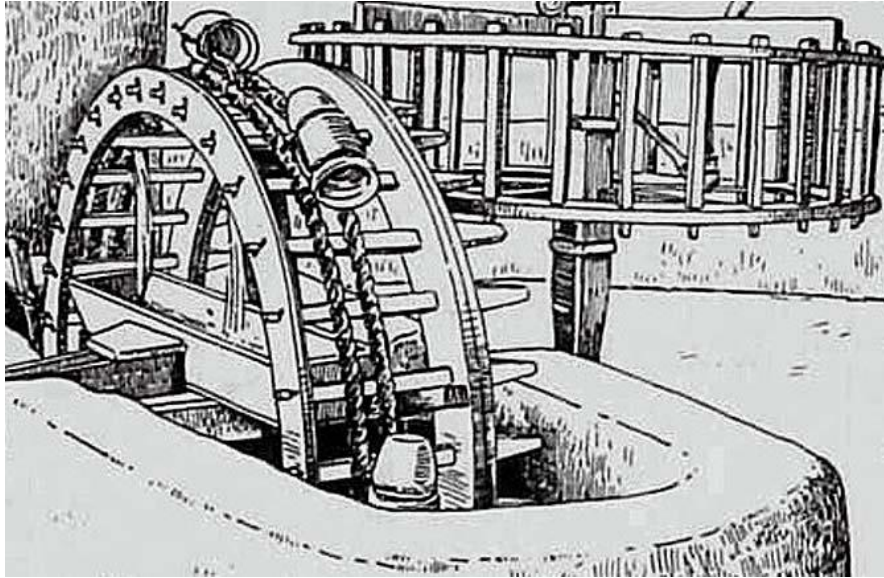
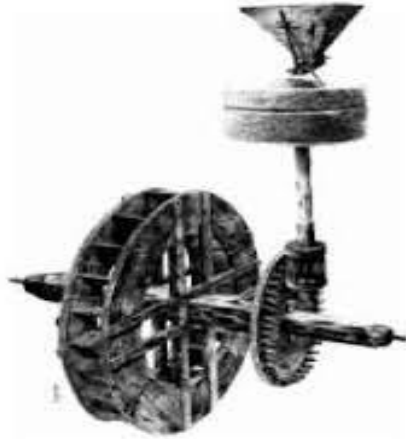
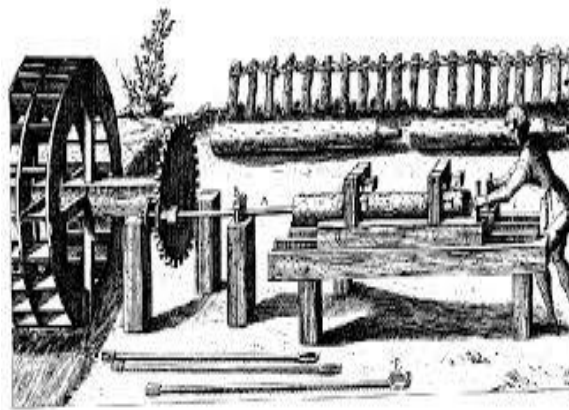


Figura. 2.2 Noria, primer artefacto en transformar la energía Hidráulica [R.2]

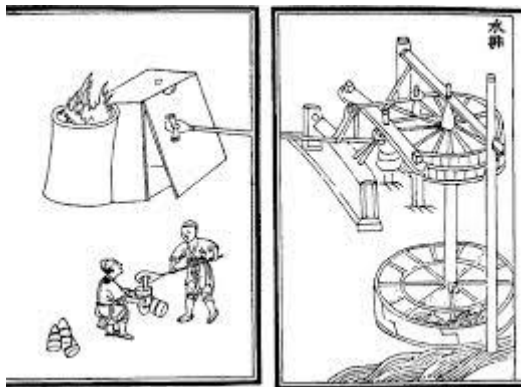
La iniciativa e interés en la edad media por algunos hombres, en la búsqueda de nuevas fuentes de energía, dio origen al surgimiento del empleo de la energía hidráulica en sustitución de la fuerza o el peso humano, teniendo un protagonismo en esta etapa, como lo tuvo, el vapor de agua en el siglo XIX o el petróleo en el XX. Esto fue incentivado por el auge de la producción de cereales ya que para moler grandes cantidades, el molino de mano resultaba insuficiente y los animales se empleaban en la agricultura, por lo que surgió el molino hidráulico (figura 2.3 a), como primera máquina energética y automática incorporado a la sociedad, utilizando esta energía a través de ruedas de paletas convenientemente diseñadas, que la hacían girar la corriente de agua, la cual no solo se utilizaba para moler granos sino también en la construcción para mover sierras (figura 2.3 b), para el accionamiento de los fuelles (figura 2.3 c) y los martinets de la línea ferreas (figura 2.3 d). Siendo los Griegos y Romanos los primeros en el empleo de esta tecnología para su desarrollo [15].



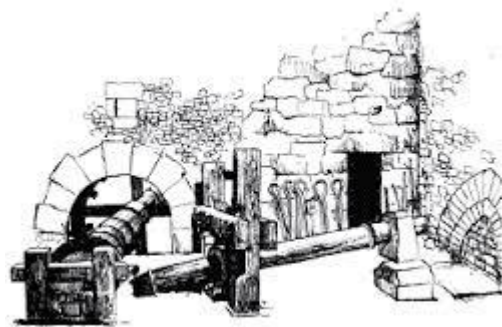
a [R.3]



b [R.4]



c [R.5]



d [R.6]

Figura. 2.3 (a, b, c, d). Otras manifestaciones de cómo aprovechar la energía del agua.

A finales del siglo XIX se percibía un mal futuro para la utilización de la energía hidráulica. La máquina de vapor a carbón estaba surgiendo, y el molino de agua se estaba volviendo rápidamente obsoleto. Un siglo después el panorama era completamente diferente: el mundo ya tenía una industria eléctrica y un cuarto de su capacidad de generación era de accionamiento hidráulico. El crecimiento de la industria de la energía fue el resultado de una notable serie de descubrimientos científicos y avances en la de electro-tecnología durante el siglo XIX, pero los

cambios significativos en lo que hoy podríamos llamar hidro-tecnología también jugaron su papel. En 1832, el año del descubrimiento de Faraday de la inducción electromagnética, un joven ingeniero francés patentó un diseño nuevo y más eficiente de la rueda movida por el agua. Su nombre era Benoit Fourneyron y su dispositivo fue la primera turbina de agua (figura 2.4) [15].

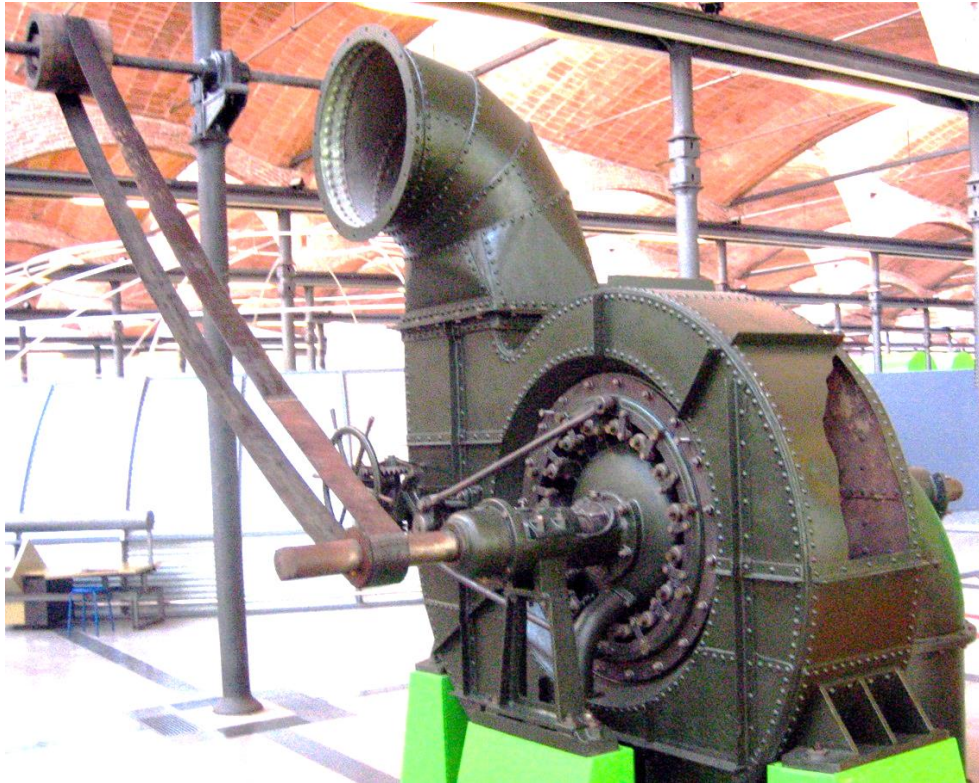


Figura.2.4 Prototipo de Turbina Benoit Fourneyron, mejorada por James B. Francis [R.7].

Las pruebas demostraron que la turbina de Fourneyron convierte hasta en un 80% de la energía del agua en la potencia mecánica útil, una eficacia sin igual en aquella época. El rotor también podría girar mucho más rápido, una ventaja en la conducción de modernas máquinas. El primer par de estas turbinas a utilizar, se instalaron en 1837 en la pequeña ciudad de San Blasien en el Gran Ducado de Baden (ahora parte del sur de Alemania). Medio siglo de desarrollo se necesitó



después del descubrimiento Faraday para que se crearan las centrales eléctricas a gran escala. Godalming, en Surrey, Reino Unido, puede reclamar el mundo de la primera entrega pública de electricidad, inaugurado en 1881 y la fuente de alimentación de esta tecnología más moderna fue un tradicional molino de agua [15].

#### **2.4 Principios de aprovechamiento de la energía hidráulica**

Desde la antigüedad, se reconoció que el agua que fluye desde un nivel superior a otro inferior posee una determinada energía cinética susceptible de ser convertida en trabajo, como demuestran los miles de molinos que a lo largo de la historia fueron construyéndose a orillas de los ríos. Más recientemente, hace más de un siglo, se aprovecha la energía hidráulica para generar electricidad, y de hecho fue una de las primeras formas que se emplearon para producirla [8].

La energía hidráulica es una fuente renovable, barata, confiable y de tecnología probada, que a partir de finales del siglo XIX ha tenido un rol importante en la producción de energía eléctrica y que ostenta significativos atributos ambientales, limpieza, sostenibilidad y muy especialmente la ausencia de emisión de gases de efecto invernadero, lo que la sitúa como opción prioritaria en la solución de la producción de electricidad, para todo los países [50]. El principio consiste, en que la energía cinética del agua se convierte en eléctrica mediante sucesivas transformaciones de energía, donde se aprovecha un desnivel para conducir el líquido hasta una instalación situada en la parte inferior, en la cual se hace pasar el agua a gran presión por una turbina provocando un movimiento rotatorio. A partir de la rotación de un rotor electromagnético impulsado por la turbina, se induce la tensión en los paquetes de bobinas del estator, este es una pieza que contiene un electroimán encargado de crear el campo magnético fijo y en el cual se produce la electricidad. Finalmente, de las terminales o bornes del estator es posible extraer energía eléctrica, una vez terminado este proceso se retorna el agua al curso del

rio. Por lo que la energía se origina de la turbina que mueve el rotor del generador, donde este último solo convierte esa energía mecánica en energía eléctrica [30].

## 2.5 Surgimiento de la hidroelectricidad en el mundo

La primera central hidroeléctrica se construyó en Northumberland, Gran Bretaña, ver figura 2.5. El principal impulso de la energía hidráulica se produjo por el desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina hidráulica y debido al aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX. En 1920 las centrales hidroeléctricas generaban ya una parte importante de la producción total de electricidad. A principios de la década de los noventa, las primeras potencias productoras de energía hidroeléctrica eran Canadá y Estados Unidos [9].

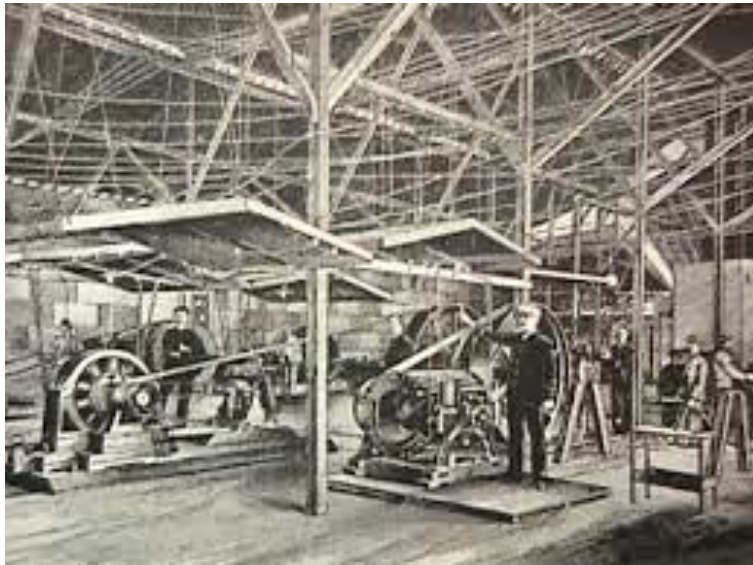


Figura 2.5 Northumberland 1880 .Primera Central hidroeléctrica [R.8].

Este tipo de tecnología para producir energía eléctrica tuvo un gran crecimiento y desarrollo técnico experimentado a finales del siglo XIX y principios del XX, especialmente en lo que se refiere a la invención del generador eléctrico y al perfeccionamiento de las turbinas hidráulicas. A pesar de que las tecnologías de

producción no han experimentado grandes revoluciones desde principios del siglo XX, sí se han desarrollado nuevos mecanismos para optimizar el rendimiento [9].

## **2.6 Potencial hidroenergético en el mundo**

Informes de la Agencia Internacional de Energía (AIE), el potencial hidroeléctrico técnico factible mundial es de aproximadamente 14.000 TWh/año, siendo que alrededor de 6.000 TWh/año se considera un objetivo realista y económicamente rentable. La realidad es que unos 808 GW de capacidad hidroeléctrica están actualmente en operación y en construcción alrededor del mundo y que mientras que el potencial hidroeléctrico técnico factible mundial de las centrales hidroeléctricas a pequeña escala se estima entre 150 GW y 200 GW, solo el 30 % está siendo explotado [51].

La combinación de tierras bajas centrales, montañas, una red de ríos y numerosas cuencas hacen que América latina ostente con el distintivo de tener gran potencial hidroeléctrico, mientras se logra una gran producción de electricidad a través de microgeneradores, personalizados en pequeñas centrales para aprovechar las corrientes naturales de aguas continuas y así generar energía suficiente para alimentar a la creciente demanda de electricidad, sin mitigar el suministro de agua para la industria y la agricultura [23].

Las pequeñas plantas hidroeléctricas en África Ecuatorial tienen un fuerte avance en el aprovechamiento de la energía hidráulica, debido a una extensa red de ríos permanentes, y al hecho de que la mayoría de las viviendas están ubicadas cerca de estos. Sin embargo, solo se explota el 7 % del potencial hidráulico de África [30]. La producción de energía hidroeléctrica ocupa una posición de absoluto relieve a nivel mundial como se aprecia en el gráfico 2.1, por lo que en Europa el potencial hidroeléctrico ya ha sido casi totalmente utilizado hasta un 75 %. Por este motivo esta región se concentra en el hidroeléctrico de pasada, la tipología de planta que, aunque sea de potencia unitaria limitada, puede ofrecer en el conjunto una

contribución considerable para la satisfacción de la demanda de energía eléctrica [30].

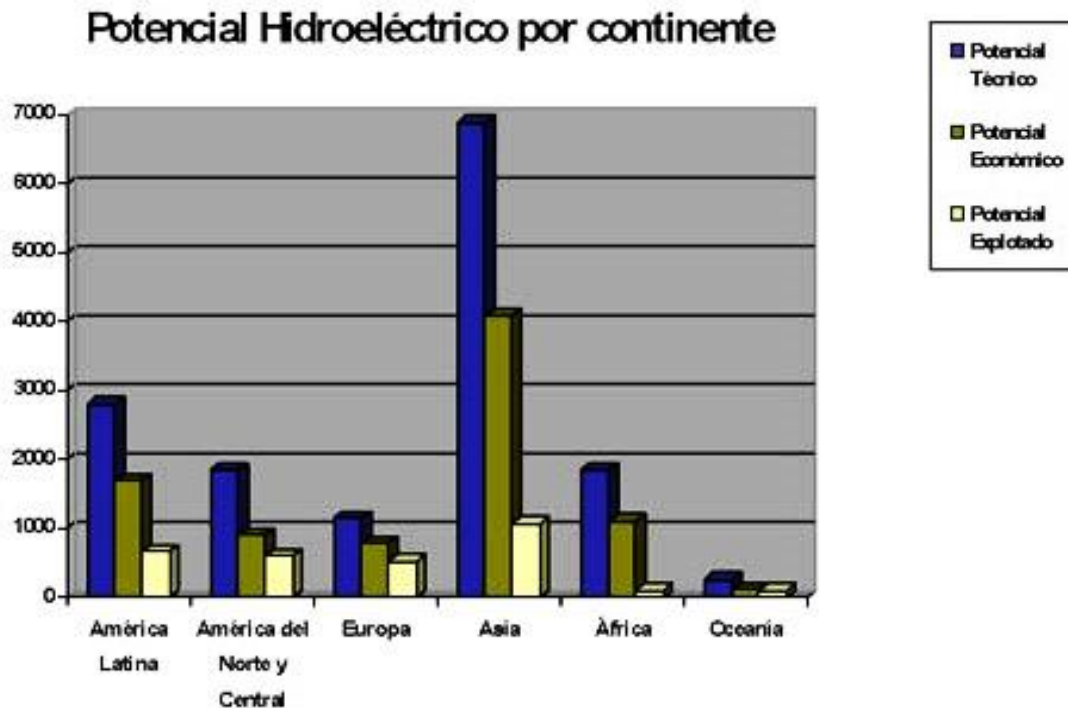


Gráfico 2.1 Fuente: EU Res Export Masterplan 2002 [30]

Por otro lado, los proyectos hidroeléctricos a gran escala pueden ser objeto de controversia, al ser susceptibles de afectar la disponibilidad de agua en las grandes regiones; inundar valiosos ecosistemas forzando ello la reubicación de las poblaciones, y requerir una gran infraestructura de transmisión de electricidad. Por lo general, la energía hidroeléctrica depende de las precipitaciones en las cuencas aguas arriba y la capacidad de reserva puede ser necesaria para compensar los períodos de bajas precipitaciones, teniendo como consecuencia el incremento de los costos de inversión [51].

Casi dos mil millones de personas en el mundo carecen de un suministro eléctrico estable mientras que aproximadamente el 70 % del potencial hidroeléctrico mundial permanece a la espera de ser explotado [4].

## 2.7 Desarrollo de la hidrogenación en el mundo.

La hidroenergía ha sido y es una de las energías más importantes en la producción de electricidad, para su desarrollo se ha realizado un gran esfuerzo por parte de la humanidad a través de los años, ya que es la tecnología de generación eléctrica de donde se obtienen mejores rendimientos [6].

La utilización de la hidroeléctrica en el mundo es diversa, depende mucho de la difusión de cada gobierno con respecto a ella, esta tiende a aumentar en todo el mundo, pero sobre todo en África, Asia (China y Vietnam) y América Latina (Brasil, Argentina y Paraguay), lugares donde el potencial de desarrollo es mayor, ver figura 2.6 [6].

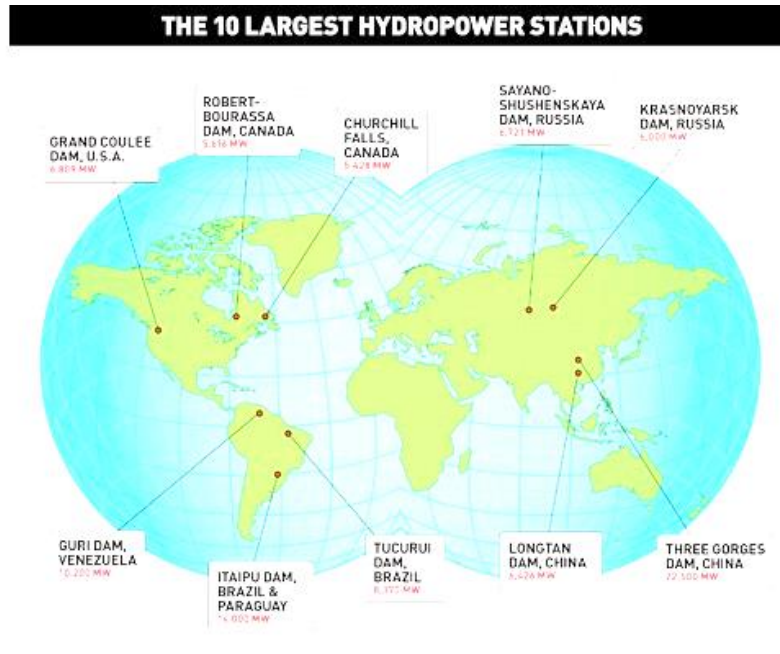


Figura 2.6 Países que poseen la principales Hidroeléctricas a nivel mundial [R.11].

El 16 % de la electricidad mundial proviene de hidroeléctricas y desempeña un papel fundamental en la satisfacción de las necesidades energéticas nacionales de ciertos países, que obtienen toda su electricidad de la energía hidráulica como Paraguay, quien de la mayor parte de su exceso le oferta a los vecinos Brasil y

Argentina. Albania, Bután y Lesoto también dependen exclusivamente de la hidroelectricidad. Noruega produce más del 98 % de su electricidad de la energía hidroeléctrica, en Brasil el 85 %, Islandia el 80 %, Venezuela 69 %, Colombia 65 % y Canadá el 61 %. Austria (60 %), Suiza (56 %) y Nueva Zelanda (53 %) son otros países que generan la mayor parte de su electricidad a partir de fuentes hidroeléctricas. (Los EE.UU. extraen sólo el 6 % de su electricidad de la energía hidroeléctrica) [38].

El desarrollo hidroeléctrico se está llevando a cabo de manera desproporcionada en los países en desarrollo en este sector como EE.UU, Europa Occidental y Japón. Brasil cuenta con el complejo más sólido de construcción de hidroeléctricas de cualquier país, una de las principales que se construye en ella es la Belo Monte, en el río Xingu, en el noroeste, su capacidad prevista de 11.233 MW se ubicará como la tercera o cuarta planta hidroeléctrica de mayor capacidad en el mundo cuando esté terminado, por otra parte Etiopía alzaré su capacidad de generación de aproximadamente 2.000 MW en la actualidad a 10.000 MW en los próximos tres a cinco años en el Gilgel Gibe Presa III, en construcción sobre el río Omo por Salini Costruttori de Italia, será la mayor planta hidroeléctrica en África una vez terminado, con una capacidad de 1.870 MW [38]. China es el mayor productor de energía hidroeléctrica, generando 721 terawatt-hora (TWh), lo que representó el 17 % de su electricidad consumida. Canadá ocupa el segundo lugar, a 369 TWh en 2009, y Brasil es tercero, a 363 TWh, con los EE.UU. cuarto a 250 TWh y Rusia quinto en 167 TWh [38]. La central hidroeléctrica de mayor capacidad es la Tres Gargantas en China en el Xiluodu Dam (figura 2.7), en el río Jinsha (parte alta del río Yangtze) en la provincia suroccidental china de Yunnan, de 285 m de altura, 700 m de largo arco de hormigón, presa con dieciocho turbinas de 770 MW cada una, para una capacidad total de 13.860 MW. La primera turbina fue instalada en julio de 2013, mientras que el resto en el 2014 [38].



Figura 2.7 Sistema Hidroeléctrico Tres Garganta (China) [R.12].

## **2.8 Desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas.**

Las pequeñas centrales hidroeléctricas también representan un modo de generación de energía eléctrica en que las condiciones de hidrografía y de topografía son fundamentales para su viabilidad técnica y económica [50].

Una Pequeña Planta Hidroeléctrica (PPH) es una tecnología ya probada que se puede conectar a una red eléctrica principal, que puede ser usada por si misma o bien en combinación con un sistema de irrigación lo cual, por lo tanto, la hace idónea para la electrificación rural. Generalmente, las tecnologías de las micro y pico-hidroeléctricas se utilizan en los países en desarrollo para proveer de electricidad a las comunidades aisladas en donde no existe una red eléctrica como se observa en la figura 2.8, mientras que las mini-hidroeléctricas tienden a estar conectadas a una red eléctrica. En la mayoría de los casos, no se utiliza una presa o una reserva de agua en los esquemas de las pico, micro o mini-hidroeléctricas,

pues se instalan en plantas de energía en los ríos, las cuales no alteran el flujo natural del agua [43].

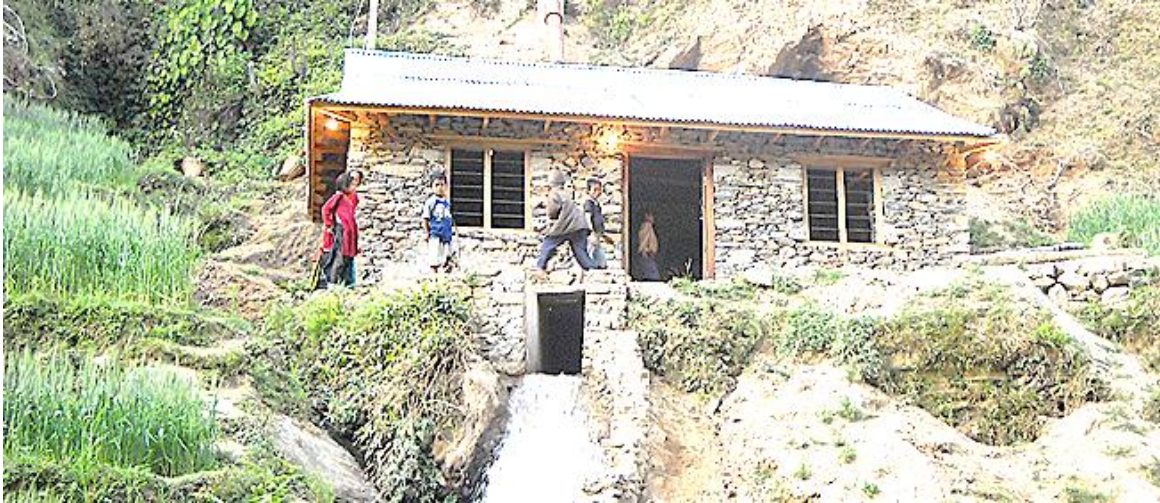


Figura 2.8 Pequeñas Plantas Hidroeléctricas en zonas Rurales de Asia [R.13]

China, Nepal, Vietnam y otros países Sudamericanos en los últimos 30 años han experimentado un gran número de proyectos de micro y pico-hidroeléctricas que proveen de electricidad a miles de hogares. El mayor número de micro-hidroeléctricas en el mundo con la instalación de 100,000 unidades de muy baja capacidad las han desarrollado aldeas Chinas, las cuales producen un total de 188.6 MW (Energía Renovable Rural en China- ERRC, 2003), y las familias rurales Vietnamitas han instalado 130,000 sistemas de pico-hidroeléctricas (usualmente de 200 Watts cada una) en los últimos 15 años únicamente a razón del comercio [43]. En la tabla 2.1 se representa la capacidad de PPH instaladas y su representación porcentual en el mundo [43].

De acuerdo a los potenciales de las masas de agua, los cuales pueden ser geográficamente extensos, las PPH pueden ser descentralizadas, asegurando así poder cumplir con las necesidades de las aldeas aisladas. Gracias a su pequeño tamaño, permite que los habitantes locales puedan participar desde la



implementación de las mismas hasta su operación, mantenimiento y administración [43].

Tabla 2.1 Capacidad de Pequeñas Plantas Hidroeléctricas a Nivel Mundial [42].

Capacidad de PPH Instaladas	MW	Porcentaje
Asia	32,641	68,0%
África	228	0,5%
Sudamérica	1,280	2,7%
Norte y Centro América	2,929	6,1%
Europa	10,723	22,3%
Australia-Oceanía	198	0,4%
Total	47,997	100%

Las pequeñas plantas hidroeléctricas no generan emisiones atmosféricas, ni desechos sólidos o líquidos, estas son especialmente idóneas para las áreas rurales al ser económicamente viables, pues el recurso existe en el sitio en que se instalan, tiene bajos costos de distribución y de mano de obra y tiene una larga vida útil (>25 años). La electrificación puede ser una realidad en los lugares donde una red de distribución hubiera requerido más dinero y tiempo. Además, las PPH nos otorgan una alta producción de energía en relación a su bajo costo general. Por cada sistema de generación de energía, “la ganancia en energía” se obtiene tomando la cantidad de energía producida durante la vida útil normal, dividida por la energía que se necesita para construir, mantener y alimentar el equipo generador. Si un sistema tiene un nivel de ganancia bajo, quiere decir que se necesita de mucha energía para hacerlo funcionar [43].

## 2.9 Surgimiento de la hidroelectricidad en México

En México los primeros indicios del surgimiento de la hidroenergía, aparecieron en el mes de mayo de 1896, cuando a la Compañía Explotadora de las Fuerzas Hidroeléctricas de San Ildefonso, se le permitió como tercera Empresa autorizada a iluminar la ciudad de México, que a través del empresario Ernesto Pugibet obtuvo los derechos del aprovechamiento de algunas caídas de agua en el Rio Monte Alto, en el Distrito Cuautitlán cerca de la Capital del país. También en 1902 la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza en calidad cesionaria de la Societé du Necaxa, recibe la autorización para la explotación de la energía hidráulica de los ríos Tenango, Necaxa y Catepuxtla en el Distrito de Huachinango en el estado de Puebla, donde en 1905 se puso en servicio la primera unidad hidrogeneradora de Necaxa de 5 MW, como se muestra en la figura 2.9 [3].

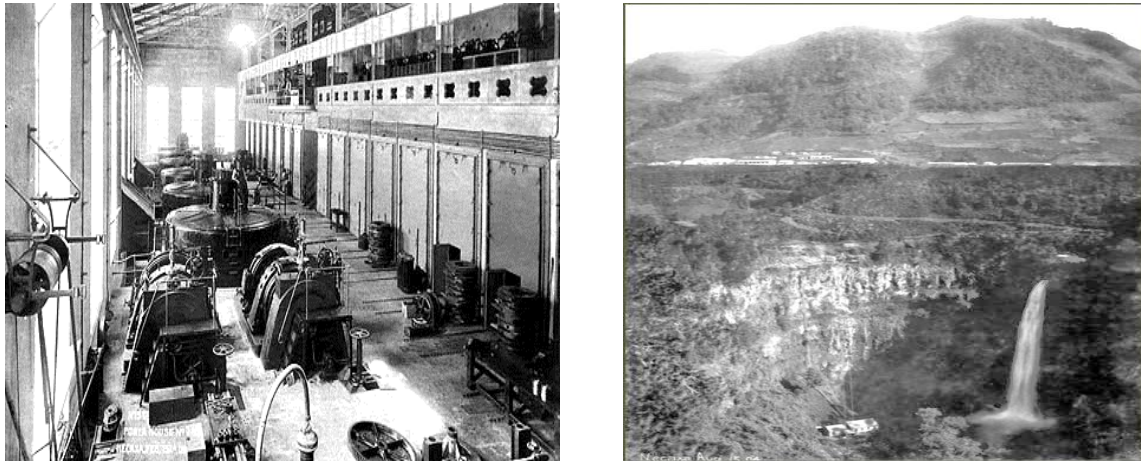


Figura 2.9 Primera Unidad generadora de Necaxa, Puebla .1905 [R.9].

La construcción de las plantas en cascada del sistema hidroeléctrico (Necaxa, Tepexic, Tezcapa y Patla) tardó 12 años porque en ese entonces no se conocía el concreto en México. La cortina de la presa se rellenaba de manera paulatina con arcilla (lodo) que se comprimía con agua y se secaba con el sol y el viento, de ahí que la cortina de la obra hasta la actualidad deba permanecer húmeda para evitar fracturas y con ello filtraciones o fugas de agua [3].

La presa, con capacidad de cien mil caballos de fuerza (alrededor de 200 megavatios) permitió aumentar la disponibilidad de energía en el centro del país, que en ese entonces era cubierta parcialmente por las plantas termoeléctricas de Nonoalco (a un costado de la central de ferrocarriles de Buenavista), La Verónica (en Melchor Ocampo y Marina Nacional, a un lado de la sede de LFC), Indianilla (en la colonia Doctores) y San Lázaro (en la zona de La Merced) [3].

## **2.10 Potencial hidroenergetico en México.**

Existe un potencial importante en centrales de menor tamaño, pero, con la excepción de un estudio realizado en una región de los estados de Puebla y Veracruz, este potencial no se ha evaluado. De manera muy preliminar se ha estimado que el potencial nacional para pequeñas hidroeléctricas es de alrededor de 3 GW [46].

Según datos de la SENER (secretaría de energía), en el país existen 64 centrales mini hidroeléctricas, 42 públicas y 22 privadas, que suman una capacidad de 376 MW, sin embargo, la Comisión Nacional para el uso eficiente de energía estima que la energía minihidráulica tiene un potencial de 3 250 MW [21].

En la medida en que se reconozcan los distintos beneficios de las pequeñas centrales hidroeléctricas, incluyendo su impacto en la mitigación del cambio climático, este potencial será económico y financieramente factible. Existe también un potencial no identificado para la construcción de micro-centrales hidroeléctricas para abastecer de electricidad a comunidades aisladas de la red eléctrica, así como para satisfacer otros servicios energéticos [46].

Además la Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha identificado el potencial hidroeléctrico del país en aquellos sitios con una potencia media mayor de 5 MW. Excluyendo las centrales en operación y en planeación, el potencial identificado es de 39 GW. Este potencial es solamente indicativo, pues falta definir la factibilidad técnica, económica, ambiental y social para muchos de estos proyectos. Se puede suponer sin embargo que por lo menos el 25 % de este potencial sea factible [46].

Tabla.2.2 Potencial hidroeléctrico en México CFE ,2008. [10]

Nivel	Numero de Proyectos	Potencia Instalada MW	Generación Media Anual GWh
Identificación	320	21 257	63 796
Gran Visión	120	7 884	22 047
Perfectibilidad	28	3 387	9 048
Factibilidad	35	6 953	17 280
Diseño	1	900	1 372
Construcción	1	750	1 210
Total	505	42 132	114 754

### 2.11 Hidrogeneración en México.

En México el poder hidroeléctrico ya es un método común de generar energía, representa el 26.2 % de la electricidad del país. La principal vía de generación es a través grandes presas las cuales causan daños a los ecosistemas que circundan los ríos por efecto de inundación del área de embalse. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la principal instancia gubernamental que se dedica a la producción de energía eléctrica siendo su fuente principal las hidroeléctrica, sin embargo su visión se enfoca en las grandes presas y a partir de 2006 suspendió los estudios de los potenciales de hidroenergía por saltos los cuales se habían localizado en estados como Veracruz, Oaxaca, Guerrero y Chiapas. [18].

En México se cuenta con una capacidad hidroeléctrica instalada de 11,603.40 MW que representa aproximadamente el 18.06 % de toda la energía eléctrica generada en el país y se estima que existe un potencial de 53,000 MW (datos de CFE y CRE, febrero 2012) y que en adición con el resto de las energías renovables aportan 14,324 MW representando un 22.3 % del total de la generación de electricidad nacional [32].

Tabla 2.3 Las diez hidroeléctricas más grandes instaladas en México y su capacidad instalada [32].

Nombre de la Central	Capacidad Efectiva Instalada (MW)	Ubicación
Manuel Moreno Torres (Chicoasén)	2400	Chicoasén, Chiapas
Infiernillo	1160	La Unión, Guerrero
Malpaso	1080	Tecpatán, Chiapas
Aguamilpa Solidaridad	960	Tepic, Nayarit
Belisario Domínguez (Angostura)	900	Venustiano Carranza, Chiapas
Leonardo Rodríguez Alcaine (El cajón)	750	Santa María del Oro, Nayarit
La Yesca, Elías Ayub	750	Jalisco, México
Carlos Ramírez Ulloa ( El Caracol)	600	Apaxtla, Guerrero
Luis Donald Colosio (Huites)	422	Ostuacán, Chiapas
Ángel Albino Corzo (Peñitas)	420	Ostuacán, Chiapas

Se estima que en México se utilizan diariamente 234.9 km<sup>3</sup> de agua dulce de los cuales 158.9 km<sup>3</sup> se usan para la generación de electricidad un 67.6 % [31]. Sin embargo el entonces presidente de los Estados Unidos Mexicanos Felipe Calderón en su mandato, emitió una nueva regulación, en la ley de agua nacionales, que se publicó en el Diario Oficial de la Federación con el objetivo de racionalizar la explotación de las aguas superficiales, a través de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el 24 de mayo del 2011, que entre los aspectos más

importantes, mencionaban en el artículo 120: que no se necesitaba concesión alguna para la generación con hidroeléctricas que no exceda los 30 MW, y luego se publicó en este mismo diario el 26 de octubre de 2012, en el artículo DECIMO SEGUNDO :las regulaciones para la explotación de las aguas superficiales, donde cuantifica la cantidad de agua a utilizar, con el objetivo de no afectar a terceros, en diferentes cuencas del país en la que se encuentra nuestra área de estudio [32].

## 2.12 Surgimiento de la hidroelectricidad en Chiapas.

En el estado de Chiapas específicamente en la Cuenca del Río Grijalva, se comenzaron a realizar los primeros estudios encaminados a determinar potenciales hidroeléctricos en año 1958, con el fin de aprovechar la energía hidráulica con este propósito, lo que dio como resultado que el año 1959 se inicia la construcción de la primera obra hidráulica para la generación de energía con el nombre de Netzahualcóyotl (Malpaso), la cual es terminada en 1964 (figura.2.10), desde entonces se ha fortalecido la generación a través de hidroeléctricas en el territorio convirtiéndose a nivel nacional ,en el estado con mayor potencial con energía hidráulica[9].

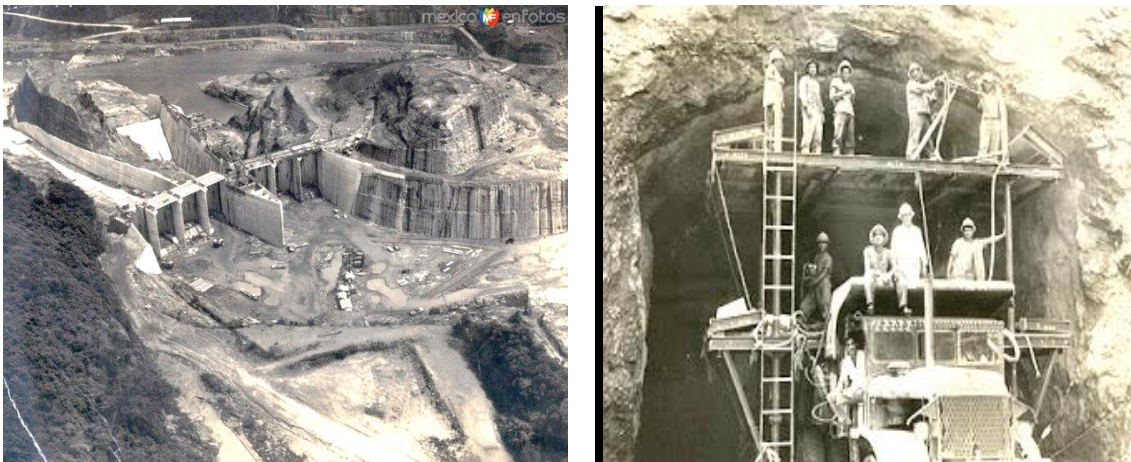


Figura 2.10 Construcción de la presa Netzahualcóyotl (Malpaso).Terminada en 1964 [R.10].

La presa Netzahualcóyotl “Malpaso” constituye el primer aprovechamiento del sistema del Grijalva. Se construyó entre los años de (1959 a 1969 en el estado de Chiapas sobre el Río Grijalva, en el municipio de Tecpatán. Se localiza a 81 km aguas abajo de la presa Chicoasén. Sus coordenadas geográficas son: 17°11’58” de latitud norte y 93°36’17” de longitud oeste. La cuenca propia de Malpaso comprende un área aproximada de 9,403 km<sup>2</sup>, área comprendida aguas abajo de la presa Chicoasén hasta dicha presa. Primeramente de (1959-1954) La Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S.A.R.H) construye el primer control de avenidas en el Grijalva y contaba con los vertedores de servicio y emergencia, y con la cortina posteriormente. Desde 1964 - 1969 la CFE construye la Central Hidroeléctrica Malpaso para aprovechar el gran volumen de almacenamiento de su embalse [8].

### **2.13 Potencial hidroenergetico en Chiapas**

En el Estado de Chiapas se encuentran zonas con gran potencial hídrico ya en explotación, usando el método de represa para la generación de energía, en las presas de Malpaso, Chicoasén, Angostura y Peñitas, de las más de 10 cuencas hidrológicas en Chiapas, la más importante es la del Río Grijalva, que hasta el 2012 con una capacidad efectiva instalada de 5374 MW, tuvo una generación media anual de 12 497 GWh, representando el 30 % de la energía hidroeléctrica del país, actualmente en Chiapas todo el beneficio que se obtiene a partir de una parte del potencial de energía hídrica del estado, es a través de su almacenamiento [12].

Estudios han demostrado que en el estado de Chiapas existe un gran potencial hidroeléctrico a desarrollar, se han identificado 38 sitios a lo largo del río Usumacinta; sin embargo, en su cauce no se ha plasmado ningún proyecto hidroeléctrico, ya que existen aspectos que han obstruido el desarrollo de los mismos en esta zona, como riquezas ecológicas con características únicas, además de varias comunidades indígenas que depende totalmente de este río para

subsistir, además que el impacto en esta zona de un proyecto de hidrogenación traería grandes consecuencias ambientales y sociales muy desfavorables [52].

Tabla 2.4 Potencial hidroeléctrico en CHIAPAS, CFE. 2008 [10].

Nivel	Numero de Proyectos	Potencia Instalada MW	Generación Media anual GWh
Identificación	79	6 733	27 608
Gran Visión	4	930	4 093
Perfectibilidad	2	177	794
Factibilidad	5	1 220	4 625

Tabla 2.5 Proyectos de gran visión Chiapas, CFE. 2008 [10].

Proyecto	Región	Cuenca	V.máx Millones. De m <sup>3</sup>	h m	Potencia instalada MW	Generación media anual GW/h
Altamirano	SE	Usumacinta	980	419	185	910
Livingston	SE	Usumacinta	1 453	308	285	1 248
Rápidas Sto. Domingo	SE	Usumacinta	5 448	73	100	700
Santa Elena	SE	Usumacinta	2 307	249	300	1 334

#### 2.14 Hidrogenación en Chiapas.

Para el caso de Chiapas, la CFE distingue 90 proyectos hidroeléctricos en la etapa de planeación con una potencia instalada de 9,060 MW. De ese total, 79 corresponden a proyectos identificados, cuatro de gran visión, dos de prefactibilidad y cinco de factibilidad. La CFE confirma así que en cuatro sistemas hidrológicos de



la Región del Sureste se pretende licitar próximamente los nuevos proyectos hidroeléctricos en Chiapas ubicados en las Cuencas de Tonalá, Tacotalpa, Usumacinta y Grijalva. Los cuatro Proyectos de Gran Visión para Chiapas, todos ubicados en la Cuenca del Usumacinta como se muestra en la figura 2.11 [11].



Figura 2.11 Cuenca Usumacinta [R.14]

Los otros proyectos hidroeléctricos para este río son las Presas Yaxchilán, Isla El Cayo, El Porvenir y La Línea que sumarían 690 MW al año de potencia instalable [11]. A pesar de esta gran infraestructura de hidrogenación en el territorio, no se ha disminuido considerablemente el índice de viviendas sin electricidad, que hasta el 2010 habían 39 479 [22], las acciones que han surgido para mitigar esta problemática, han sido puntuales, por parte de la iniciativa privada u organizaciones no gubernamentales con alternativas de energía renovables, se conoce actualmente por parte de la autoridades del gobierno que la microhidrogenación, es una de las soluciones factibles para mitigar el déficit de energía eléctrica en áreas rurales, pero aún no se pronuncia en este sentido [18]. Hasta el momento no se han

desarrollados estudios que permitan tener localizados los potenciales hidráulicos para microgeneración, por cada cuenca, teniendo en cuenta sus características hidrográficas, por lo que indica, que hay zonas aun no estudiadas que podrían tener un gran potencial hídrico, y que brindarían una mejor factibilidad en su uso [18].

### **2.15 Conclusiones del capítulo**

Se obtuvieron fundamentalmente los conocimientos básicos y necesarios sobre el origen, principio y aprovechamiento de la energía hidráulica, específicamente como ha ido evolucionando su uso y desarrollo a través de los años, en el mundo, México y Chiapas, utilizándose en la generación de energía eléctrica, empleo fundamental en el cual se trazaron los objetivos de este estudio, encaminados a mitigar el déficit de servicio eléctrico en zonas rurales, problemática actual que persiste en ellas. Por lo que aún en el estado de Chiapas no existen estudios del potencial de micro generación de la energía hidráulica, que permitan emplearse en la generación de energía eléctrica para asentamientos rurales.

## **CAPITULO 3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **3.1 Introducción al capítulo**

La teoría que circunda acerca de la energía hidráulica y su aprovechamiento para la generación de energía eléctrica, como su origen desde el ciclo hidrológico, métodos hidrológicos directos e indirectos para determinar caudal, principio de conservación de energía y dispositivos (turbinas) utilizados con este fin, son un conjunto de conocimientos que se relacionan entre sí, cuando se habla de hidrogenación, estos aspectos en ocasiones cuando se hace este tipo de estudios, no se tienen en cuenta, lo que trae como consecuencia el mal uso e implementación de esta tecnología, provocando afectaciones económicas y medio ambientales considerables.

Estas herramientas se utilizan con el objetivo de determinar correctamente el potencial hidráulico para la generación de energía eléctrica de un área determinada, parámetro que define la factibilidad del proyecto que se vaya a realizar, objetivos y alcance del mismo. Además en este capítulo se resume la descripción de la teoría de los parámetros que inciden de una manera u otra en la determinación del potencial hidráulico, en un área de estudio de pequeños proyectos hidroeléctricos.

### **3.2 Conocimientos básicos hidráulicos.**

**Hidrología:** es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos [1].

**Cuenca:** es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida, ver (figura 3.1) [1].

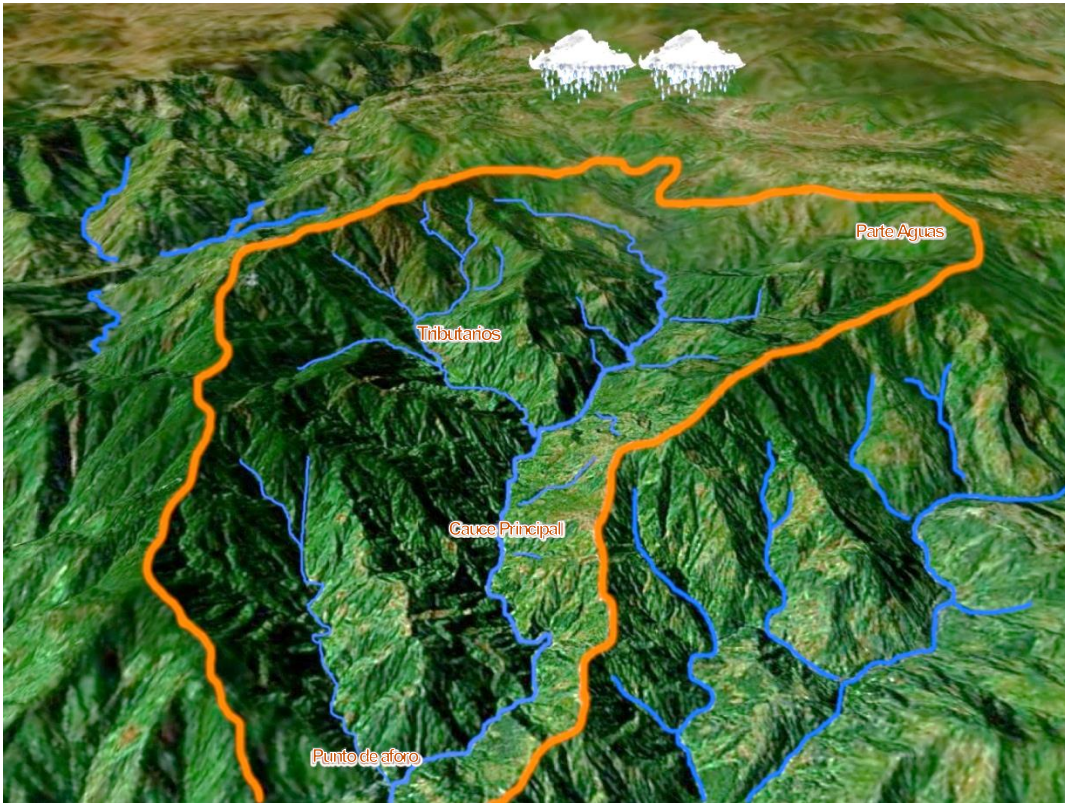


Figura 3.1 Cuenca Hidrográfica [R.15]

**Hidrometría:** es la rama de la Hidráulica que estudia los métodos y medios de determinar las magnitudes de los elementos que caracterizan el movimiento de los líquidos y su estado [1].

La hidrometría se diferencia en su aplicación a los diferentes tipos de conducciones, así se puede distinguir [1]:

- La hidrometría de las conducciones libres
- La hidrometría de las conducciones forzadas

#### **Tipos de hidrometría y sus objetivos**

- Hidrometría General.
- Hidrometría de Investigación.
- Hidrometría de Explotación

Por Hidrometría General se entiende el proceso de medición de gasto en corrientes

naturales (ríos, estuarios), ver figura 3.2, en conductoras de interés, campos de pozos, y que tienen como objetivo conocer el comportamiento de estos y elaborar series históricas de datos que permitan efectuar los cálculos hidroeconómicos y proyectar las futuras obras de una forma segura y económica [1].



Figura 3.2 Medición de gastos en corrientes naturales [R.16]

La Hidrometría de Investigación es una parte muy específica y se dedica a las mediciones de una determinada obra o equipo, del que se desea conocer su comportamiento, nos referimos por ejemplo, cuando se estudia en un canal una obra para conocer su comportamiento hidráulico, o cuando un fabricante de equipos de bombeo desea obtener la curva  $Q = f(h)$ , (relación flujo-altura) [1].

El concepto de Hidrometría de Explotación es muy amplio y no se limita al uso de los datos de la medición y observaciones en los cálculos hidrológicos e hidroeconómicos, sino también en la dirección de la explotación horaria, toma y distribución del agua, por lo general en este caso no basta con aforar el flujo de agua circulante, pues además es necesario regularlos en función de las demandas

; de aquí la prioridad que se le brinda en este caso a los dispositivos que cumplan ambas tareas, es decir, medir y regular. Se aceptan valores entre el 1 % y el 10 % en la medición de los gastos [1].

### **3.3 Principios teóricos sobre la energía y principio de conservación de la energía.**

La energía es una magnitud física que asociamos con la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo mecánico, generar calor, emitir luz, entre otros. En todas estas manifestaciones hay un aspecto común, al que llamamos energía, que es propio de cada cuerpo (o sistema material) según su estado físico-químico, y cuyo contenido varía cuando este estado se modifica [49].

En física, la energía es uno de los conceptos básicos debido a su propiedad fundamental: La energía total de un sistema aislado se mantiene constante. Por tanto en el universo no puede existir creación o desaparición de energía, sino transferencia de un sistema a otro o transformación de energía de una forma a otra [49]. La energía es, por lo tanto, una magnitud física que puede manifestarse de distintas formas: potencial, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, existiendo la posibilidad de que se transformen entre sí pero respetando siempre el principio de la conservación de la energía [49].

En este trabajo se basa en el principio de conservación de la energía, a través de un generador hidráulico para saber así, como es que se transforma la energía mecánica a eléctrica, partiendo del aprovechamiento de la energía cinética y energía potencial.

La conservación de la energía mecánica es una ley y es el origen de la expresión "Fuerza Conservativa". Cuando la energía mecánica de un sistema se conserva, podemos relacionar la energía mecánica final de un sistema con la energía mecánica sin tener que considerar el movimiento intermedio ni el trabajo realizado por las fuerzas involucradas [33].

Por lo que la conservación de la energía mecánica nos permite solucionar problemas que podrían ser difíciles de resolver a partir de las Leyes de Newton. Es válido recalcar que la energía mecánica no depende de la trayectoria, en caso de que no haya fricción, en el caso del generador hidráulico [33].

Conociendo los siguientes conceptos básicos, permite viabilizar y comprender un poco mejor la teoría antes mencionada.

**Principio de conservación de la energía:** El Principio de conservación de la energía indica que la energía no se crea ni se destruye; sólo se transforma de unas formas en otras. En estas transformaciones, la energía total permanece constante; es decir, la energía total es la misma antes y después de cada transformación, ver figura 3.3 [35]. En este prototipo las energías que experimentan transformación son:

**Energía potencial:** Es la energía que se le puede asociar a un cuerpo o sistema conservativo en virtud de su posición. Esta se calcula por la expresión 3.1.

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad 3.1$$

Donde  $E_p$  es energía potencial en Joule J,  $m$  es masa en kg,  $g$  es la aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ) y  $h$  es la altura en metros m.

**Energía cinética:** La energía cinética es una magnitud escalar asociada al movimiento de cada una de las partículas del sistema.

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad 3.2$$

Donde  $E_c$  energía cinética en  $kg \cdot m^2/s^2$ ,  $m$  es la masa en kg y  $v$  la velocidad en m/s



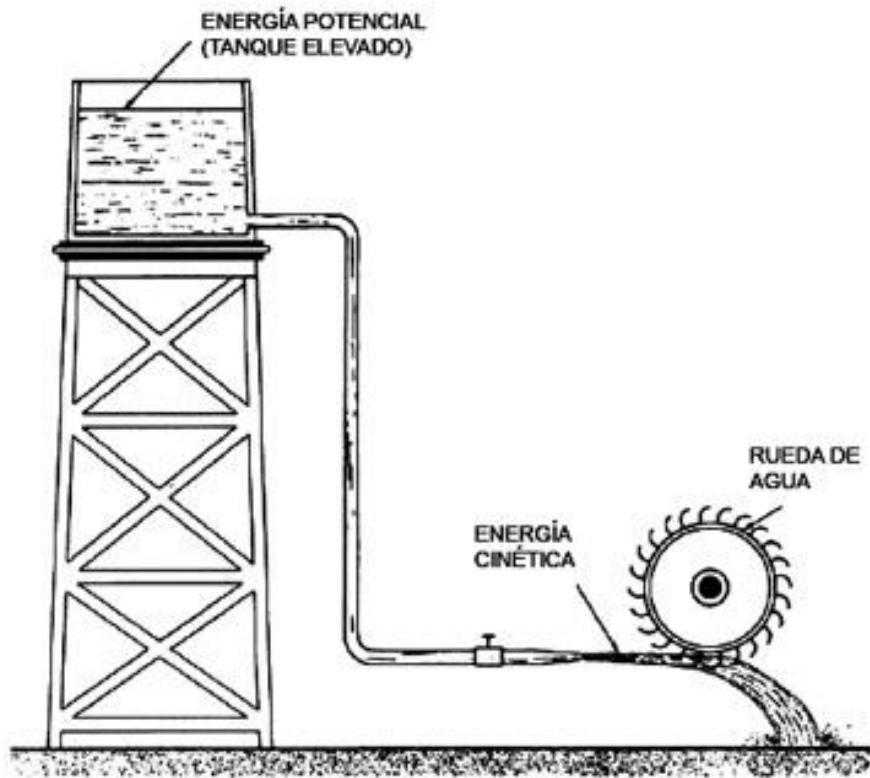


Figura 3.3 Conservación de energía [R-17].

Energía mecánica: Es la energía que se debe a la posición y al movimiento de un cuerpo, por lo tanto, es la suma de las energías potencial ( $E_p$ ) y cinética ( $E_c$ ) de un sistema mecánico [35].

$$E_{mec} = E_c + E_p \quad 3.3$$

### 3.4 Fundamentos hidráulicos y su aprovechamiento.

**Energía hidráulica:** Es aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua o mareas [35].

**Hidráulica:** Es una rama de la física y la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos. Los conceptos de la mecánica de fluidos

se resumen en tres capítulos: Hidrostática, cinemática de los fluidos e hidrodinámica. En la hidrostática se estudia el agua en reposo; en la cinemática de los fluidos se trata de las líneas de flujo y de las trayectorias y en la hidrodinámica se estudian las fuerzas que producen el movimiento del agua [35].

Se considera la energía hidráulica como la energía que se obtiene a partir del agua de los ríos. Es una fuente de energía renovable [49].

El mayor aprovechamiento de esta energía se realiza en los saltos de agua de las presas. El agua se encuentra generalmente retenida en los embalses o pantanos. Estos son unos grandes depósitos que se forman, generalmente, de manera artificial, cerrando la boca de un valle mediante un dique o presa en el que quedan retenidas las aguas de un río. Esta agua almacenada puede ser utilizada posteriormente para el riego, abastecimiento de poblaciones o para la producción de energía eléctrica en una central hidroeléctrica, el cual es uno de los objetivos de investigación [49].

La energía hidráulica se basa en aprovechar la caída del agua desde cierta altura. La energía potencial, durante la caída, se convierte en cinética. El agua pasa por las turbinas a gran velocidad, provocando un movimiento de rotación que finalmente se transforma en energía eléctrica por medio de los generadores, como se muestra en la figura 3.4 [21].

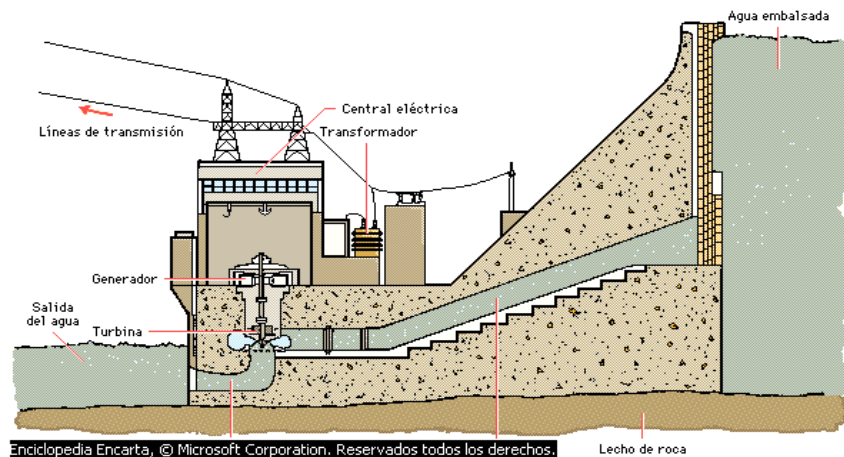


Figura 3.4 Transformación de energía hidráulica en energía eléctrica [R.18].

El protagonismo en esta transformación de energía, lo posee la turbina: turbomáquina destinada a transformar la energía cinética de un fluido en trabajo de eje. En este sentido es lo contrario de una bomba, un ventilador o un compresor por cuanto en estas últimas máquinas el trabajo del eje se transfiere a una energía cinética mayor en el fluido y/o a una mayor altura de presión del fluido [41].

Todo esto se basa fundamentalmente con la Ley de Impulso o Cantidad de Movimiento que relaciona el cambio de la velocidad experimentado por una partícula de masa  $m$  con la fuerza que hace posible dicho cambio, se expresa con la siguiente ecuación 3.4 [19].

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta V \quad 3.4$$

Donde:  $\Delta t$  y  $\Delta V$  indican, los incrementos de tiempo y velocidad del fenómeno respectivamente, el miembro de la izquierda se llama impulso y el de la derecha cantidad de movimiento.

La ley simplemente dice que el impulso durante un cierto tiempo  $\Delta t$  es igual al cambio de la cantidad de movimiento en el mismo tiempo [19].

Para el caso de un líquido:

$$m = \frac{\gamma \cdot Q}{g} \cdot \Delta t \quad 3.5$$

Donde  $Q$  es el gasto  $m^3/s$ ,  $\gamma$  es el peso específico del agua  $9.81 \text{ kN/m}^3$ , y  $g$  es la aceleración de la gravedad  $9.81 \text{ m/s}^2$

La expresión anterior también se puede escribir:

$$F = \frac{\gamma \cdot Q}{g} \cdot \Delta v = \frac{\gamma \cdot Q}{g} \cdot (v_2 - v_1) \quad 3.6$$

Donde:

$v =$  velocidad (m/s)

Y en esta forma, sin pensar en un tiempo determinado se puede decir que  $F$  es la fuerza que está provocando el cambio de velocidad  $\Delta V$  de la masa de líquido que fluye permanentemente con un gasto  $Q$  [19].

### **3.5 Métodos para determinar caudal (Q)**

El régimen de caudales es un dato básico, indispensable, para todos los diseños hidráulicos y para muchas obras civiles en los que ellos son parte importante como las carreteras, puentes, acueductos, presas, hidroeléctricas entre otras. Así la instalación de muchas "estaciones de aforo" que permitan observar, en una serie de años tan larga, como sea posible, los caudales escurridos en puntos característicos del río principal, y si fuera posible, de sus diversos afluentes, es el preámbulo de todo estudio hidráulico de una cuenca. Sin embargo en países como México las estaciones de aforo de caudales son inexistentes en muchos sitios, lo que obliga a recurrir a métodos aproximados para la estimación de los caudales. Sin embargo jamás debe olvidarse que ningún método por bueno que sea reemplaza la medida directa de la variable [1].

Los métodos para medir caudales pueden clasificarse en dos grandes categorías: métodos directos y métodos indirectos. En estas dos categorías los más utilizados son:

**Métodos directos:** Método área velocidad y Dilución con trazadores

**Métodos indirectos:** Métodos de envolventes y Formula Racional.

Observaciones: Con muy pocas excepciones las medidas de caudal continuas en el tiempo son muy costosas, por lo que se relaciona el caudal con el nivel del agua, el cual se puede medir mucho más fácilmente que el caudal [1].

#### **3.5.1 Métodos directos.**

##### **3.5.1.1 Método área- velocidad.**

Este método consiste básicamente en medir en un área transversal de la corriente, previamente determinada, las velocidades de flujo con las cuales se puede obtener

luego el caudal. El lugar elegido para hacer el aforo o medición debe cumplir los siguientes requisitos:

- La sección transversal debe estar bien definida y que en lo posible no se presente agradación o degradación del lecho.
- Debe tener fácil acceso
- Debe estar en un sitio recto, para evitar las sobreelevaciones y cambios en la profundidad producidos por curvas.
- El sitio debe estar libre de efectos de controles aguas abajo, que puedan producir remansos que afecten luego los valores obtenidos con la curva de calibración [1].

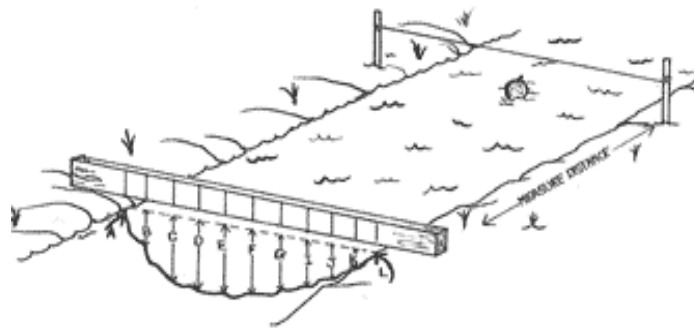


Figura 3.5 Método área -Velocidad [R.19]

La distribución vertical de velocidades en función de la profundidad, se asemeja a un paraboloides con foco sobre la línea donde ocurre la velocidad máxima [1].

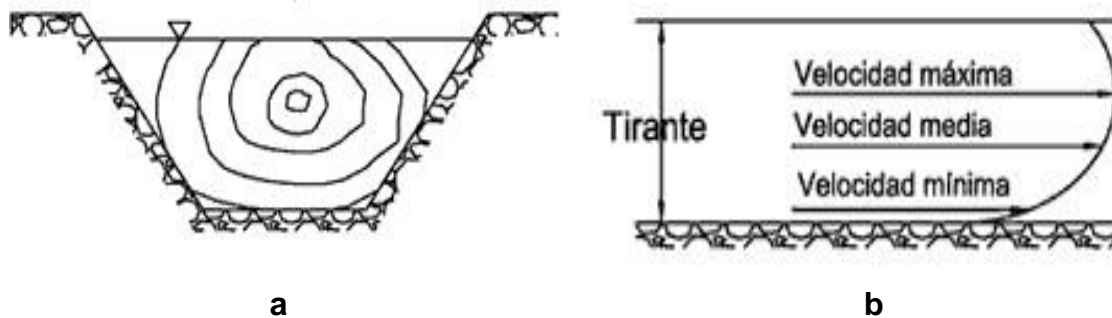


Figura 3.6. Distribución de velocidades. a- Sección transversal. b- Perfil longitudinal [R.19]

### 3.5.1.2 Dilución con trazadores.

Esta técnica se usa en aquellas corrientes que presenten dificultades para la aplicación del método área velocidad o medidas con estructuras hidráulicas, como en corrientes muy anchas o en ríos torrenciales. Se puede implementar de dos maneras así:



Figura 3.7 Método de Dilución con trazadores [R.20]

Es importante tener en cuenta que para aplicar este método se supone que el flujo es permanente [1].

Los trazadores deben tener las siguientes propiedades:

- No deben ser absorbidos por los sedimentos o vegetación, ni deben reaccionar químicamente. No deben ser tóxicos.
- Se deben detectar fácilmente en pequeñas concentraciones.
- No deben ser costosos [1].

Los trazadores son de 3 tipos:

1) Químicos: de esta clase son la sal común y el dicromato de sodio

2) Fluorescentes: como la rodamina

3) Materiales radioactivos: los más usados son el yodo 132, bromo 82, sodio

a) Inyectar rápidamente un volumen de trazador (líquido colorante). Este método es llamado también método de integración. Supóngase que en una sección 1 de un río se adiciona un pequeño volumen de trazador ( $V_1$ ), con una concentración alta  $C_1$

[1]. Si existe en el río una concentración  $C_0$ , en el río, el perfil de concentraciones se comporta con el tiempo así:

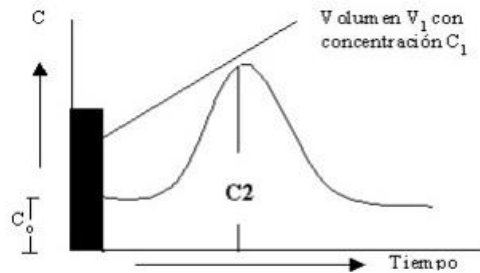


Gráfico 3.1 Inyección de un volumen conocido de trazador [1].

b) Inyección a caudal constante.

Se inyecta un trazador en una sección dada a un caudal constante  $q_0$  (cantidad de líquido colorante) con una concentración de trazador  $C_0$  así:

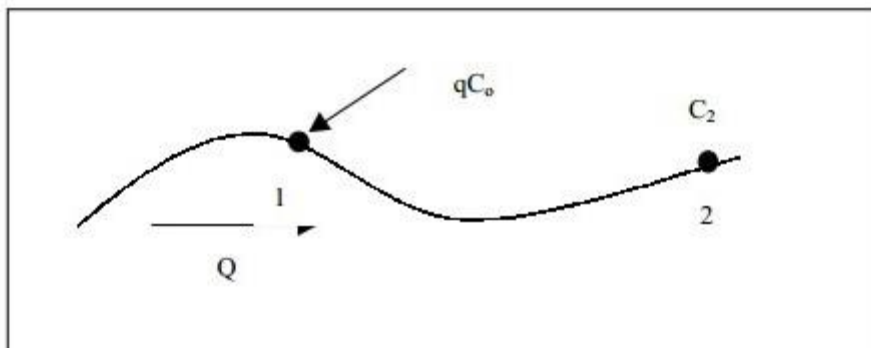


Gráfico 3.2 Inyección a caudal constante [1].

Si se realiza un balance de masa de trazador entre el punto 1 y el punto 2 y suponiendo que la corriente lleva una concentración de trazador de  $C_1$  se tiene:

$$QC_1 + qC_0 = (Q + q) * C_2 \quad 3.7$$

Despejando el Caudal Q:

$$Q = \frac{q(C_2 - C_0)}{(C_1 - C_2)} \quad 3.8$$

### 3.5.2 Métodos indirectos o empíricos

Los métodos indirectos más utilizados son los Métodos envolventes y el método de la Formula racional [1].

#### 3.5.2.1 Métodos envolventes

Estos métodos solo toman en cuenta el área de la cuenca, que aunque no son métodos que analicen propiamente la relación entre la lluvia y el escurrimiento, son de gran utilidad en los casos en que se requieran solo estimaciones gruesas de los gastos máximos probables, o bien sino se cuenta con ninguna información [1]. .

El objetivo fundamental de estos métodos es relacionar el gasto máximo Q con el área de la cuenca  $A_c$  en la forma [1].

$$Q = \alpha A_c^\beta \quad 3.9$$

Dónde: Q es el gasto máximo,  $\alpha$  y  $\beta$ , son parámetros empíricos que también pueden ser en función de  $A_c$ . Se plantea que  $\beta$  es del orden de  $\frac{3}{4}$  para cuencas menores de 1500 km<sup>2</sup> y de  $\frac{1}{2}$  para cuencas mayores [1].

De este tipo de ecuaciones existen gran variedad, pero las más usadas en México son las de Creager y Lowry, que se muestran a continuación [1].

$$\text{Fórmula de Creager. : } q = 1.303 C_c (0.386 A_c)^\alpha A_c^{-1} \quad 3.10$$

$$\text{Donde } \alpha = \frac{0.936}{A_c^{0.048}} \quad 3.11$$



$C_c$  es un coeficiente empírico se determina por regiones y el área de la cuenca ( $A_c$ ) está en  $\text{km}^2$

$$\text{Fórmula de Lowry [1]. } q = \frac{C_L}{(A_c + 259)^{0.85}} \quad 3.12$$

Donde  $C_L$  es otro coeficiente empírico se determina por regiones.

### 3.5.2.2 Fórmula racional

La fórmula racional es el posiblemente el modelo más antiguo de la relación lluvia escurrimiento. Su origen se remonta desde 1851 ó 1889, según varios autores este modelo toma en cuenta, además del área de la cuenca, la altura o intensidad de la precipitación y es hoy en día unos de los métodos más utilizados mundialmente [1]. Se dice que en una cuenca no impermeable, solo una parte de la lluvia con intensidad  $i$  se escurre directamente hasta la salida, si se acepta que durante la lluvia, o al menos una vez que sea establecido el gasto de equilibrio, no cambia la capacidad de infiltración en la cuenca, por lo que la fórmula racional se puede escribir: [1].

$$Q_p = C i A_C \quad 3.13$$

Dónde:  $C$  es un coeficiente de escurrimiento que representa la fracción de la lluvia que escurre de forma directa y  $Q_p$  es el gasto máximo posible que puede producirse con una lluvia de intensidad  $i$   $\text{mm/h}$  en una cuenca de área  $A_C$  [1].

### 3.6 Turbinas hidráulicas

Una turbina hidráulica es una turbomáquina motora hidráulica, que aprovecha la energía de un fluido que pasa a través de ella para producir un movimiento de rotación que, transferido mediante un eje, mueve directamente una maquina o bien un generador que transforma la energía mecánica en eléctrica, así son el órgano fundamental de la hidrogenación [8].

Según las características del salto de agua, se emplean tres tipos de turbinas: Pelton, Francis y Kaplan.

**Pelton:** turbina de alta presión (es una rueda hidráulica que puede desarrollar velocidades de giro suficientemente altas, unas 1000 r.p.m). Dispone de un eje horizontal y su rodete lleva una serie de álabes cóncavos sobre los que las toberas proyectan un chorro de agua. Para aumentar la potencia basta aumentar el número de chorros. Tiene una eficacia de hasta el 90 %. Cada tobera lleva un deflector para regular la presión del agua sobre los álabes. En cada rodete es posible montar hasta 4 toberas (figura 3.8). Puede utilizarse en saltos de altura superior a 200 m, pero requiere una altura mínima de 25 m y con gastos menores de 30 m<sup>3</sup>/s [8].

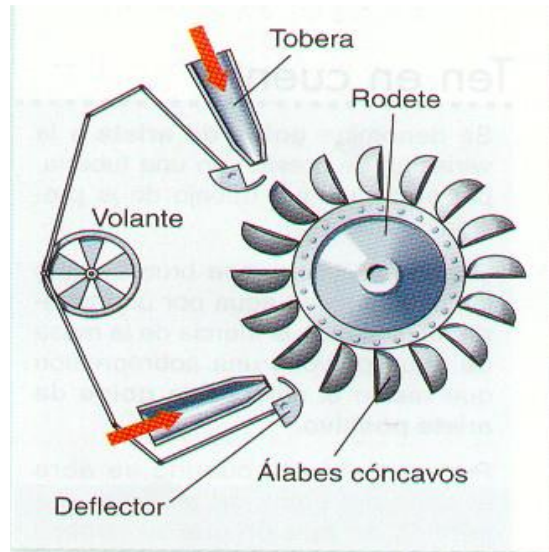


Figura 3.8 Turbina Pelton [8]

**Francis:** Turbina de media presión. Dispone de un eje vertical y su rodete está constituido por paletas alabeteadas. El agua es conducida hasta la periferia del rodete por un distribuidor y se evacua por un canal que sale a lo largo del eje, posee un rendimiento de 90 %, ver figura 3.9. Este tipo de turbinas puede funcionar sumergido en el agua y se emplea en saltos de alturas comprendidas entre los 20 y 200 m, gastos medios de 25 - 200 m<sup>3</sup>/s [8].

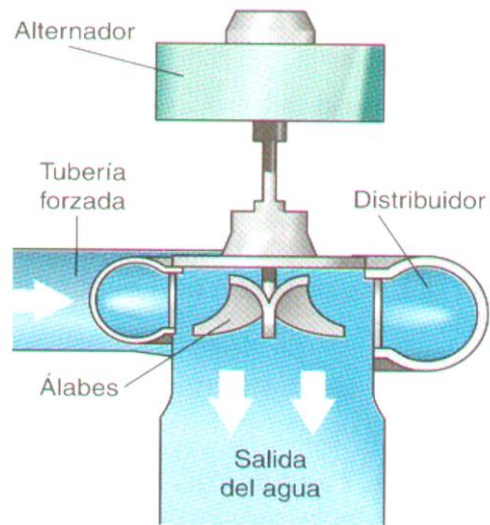


Figura 3.9 Francis [8]

**Kaplan:** Turbina de presión. Es una variante de la turbina Francis y como esta también dispone de un eje vertical. Su rodete está formado por una hélice de palas orientables, (generalmente 4 o 5) lo que permite mejorar su rendimiento y disminuir el tamaño del alternador, tiene una eficiencia entre el 93 y el 95 % (figura 3.10), se emplea en saltos de altura inferior a 20 m y puede llegar a trabajar eficazmente con saltos de solo 5 m, con gastos grandes hasta 500 m<sup>3</sup>/s [8].

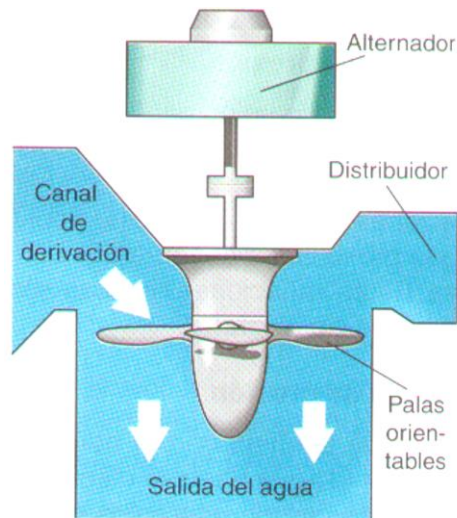


Figura 3.10 Kaplan [8]

### 3.7 Potencial hidráulico

La teoría antes expuesta va encaminada a la determinación del potencial de la energía hidráulica (ec 3.14), la cual se rige en función del desnivel existente, entre el nivel medio de un embalse o río aguas arriba del hidrogenerador y el nivel medio aguas abajo, y del caudal máximo que pueda mover las turbinas, además de las características de las turbinas y de los generadores [8].

En términos de electricidad lo más importante es relacionar el potencial hidráulico con la potencia eléctrica en watts que puede obtener del recurso hidráulico y se estima utilizando la siguiente ecuación [5].

$$P = \rho * g * Q * h \quad 3.14$$

Dónde la  $\rho$  es densidad del agua ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ),  $g$  aceleración de la gravedad ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ),  $Q$  caudal del agua ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $h$  altura o distancia medida entre la parte alta y la parte baja de una cascada del río, esta distancia es conocida también como salto bruto y se expresa en metros (m).

No existe consenso para definir la microgeneración a través de la energía hidráulica. Los criterios utilizados pueden variar de país a país, en este trabajo los más usados de acuerdo a la potencia instalada son: [20].

Tabla 3.1 Criterios usados en la microgeneración [20].

<b>Potencial (kw)</b>	<b>Tipo</b>
Vatios hasta 1 kw	Nano
1 kw hasta 10 kw	Pico
10 kw hasta 50 kw	Micro
50 kw hasta 1000 kw	Mini
1 MW hasta 5 MW	Pequeñas

Esto permite que a la hora de realizar cualquier proyecto hidroenergetico, y se conozcan los requerimientos en cuanto a la potencia eléctrica que se necesite, viabiliza la adecuación de nuestro hidrogenerador a instalar [20].

### **3.8 Conclusiones del capítulo**

Se recopiló toda la fundamentación teórica necesaria para llevar a cabo la determinación del potencial hidráulico, primeramente conociendo los principios físicos de la energía hidráulica con sus componentes y las leyes que la regulan específicamente en este proceso, sobre los métodos directos e indirectos fundamentales para identificar el caudal a utilizar, parámetro principal en este tipo de estudio, además de la diferencia de altura en el área a seleccionar, también se argumentó acerca de teoría la del principio de funcionamiento del hidrogenerador, tipos y sus características ,dispositivo capaz de transformar la energía hidráulica, en mecánica y luego en electricidad, que son capaces de llevar a cabo esta transformación debido a la obtención adecuada de un potencial hidráulico bien definido .

## **CAPITULO 4. METODOLOGÍA**

#### **4.1 Introducción al capítulo**

Los proyectos de aprovechamiento hidroeléctrico de pequeños ríos en comunidades, son una alternativa de electrificación en las áreas del sector rural que no tienen este servicio ya sea por estar aisladas, por los costos elevados que resulta conectarla a la red general u en otros casos poseen el servicio eléctrico convencional suministrado por CFE, pero tiene las condiciones necesarias para a través del aprovechamiento hidráulico poder generar su propia energía y reducir los gastos por este concepto.

En este capítulo se abordan los diferentes aspectos y factores metodológicos que definen la determinación del potencial hidráulico en un proyecto de aprovechamiento hidroeléctrico en pequeña escala, parámetro fundamental para el desarrollo del mismo; además otros criterios importantes son la ubicación geográfica del lugar donde se ha previsto la realización del proyecto y los estudios técnicos necesarios de la explotación del agua superficial del río para la generación de energía hidroeléctrica que abastezca una determinada demanda considerando los impactos ambientales negativos que pudieran generarse, por lo que se determina el caudal máximo por el método indirecto lluvia -escurrimiento con el objetivo de proteger la infraestructura de cualquier proyecto hidroenergetico a desarrollar y por el método directo de aforo con molinete para conocer el gasto en estiaje, necesario para la selección del hidrogenerador.

Por lo general, para la realización de estos proyectos se requiere del aporte económico y técnico de fuentes externas (instituciones gubernamentales y/o no gubernamentales); por lo cual, al estudiar y proponer los proyectos de micro generación en pequeños ríos en comunidades rurales, se busca minimizar costos de realización, equipamientos y mantenimiento, con eficiencia del funcionamiento del proyecto con fines de iluminación domiciliar o comercial. Cada proyecto tendrá sus propias características y condiciones para poder llevar a cabo su funcionamiento.

## 4.2 Área de estudio

La zona seleccionada para realizar los estudios sobre el potencial hidráulico para pequeños proyectos hidroeléctricos se ubica en el estado de Chiapas, éste se encuentra al suroeste de México, limita al oeste con Oaxaca y Veracruz, al norte con Tabasco, al este con Guatemala y al sur con el océano pacífico. El área seleccionada para este estudio, se encuentra en el complejo ecoturístico “El Chiflons”, ubicado el cauce del rio San Vicente, que pertenece al municipio Socoltenango, se localiza en la depresión central, presentando un relieve semiplano en su mayoría. Sus coordenadas geográficas son 16° 15"N y 91° 59"W. Limita al norte con los municipios de Las Rosas y Comitán, al este con el municipio de Tzimol, al sureste con el de Chicomuselo, al sur con La Concordia y al oeste con el de Venustiano Carranza, ver figura 4.1 [27].

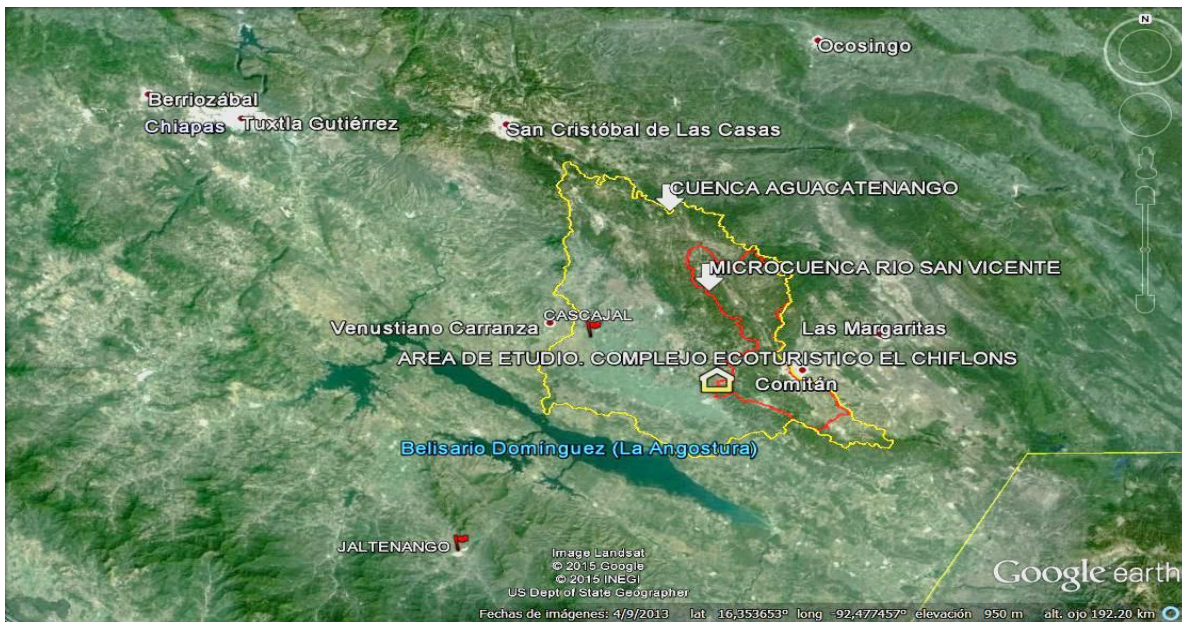


Figura 4.1 .Área de Estudio del potencial hidráulico.

En las visitas al área de estudio así como los recorridos en el curso del rio en época de estiaje y de lluvia, permitió observar que caudales persisten todo el año además de seleccionar la estaciones climatológicas ubicadas en la zona por parte de CFE



y CONAGUA, con el objetivo de obtener sus registros de lluvia y así tener una noción del volumen de agua que dispone la cuenca del Rio San Vicente todo un año.

### **Selección de los cauces de caudales permanentes.**

Los ríos de cauces permanentes generalmente se ubican en regiones donde no existe un déficit de escorrentía excesivamente largo. Incluso en las áreas donde llueve muy poco pueden existir ríos con caudal permanente si existe una alimentación freática (es decir, de aguas subterráneas) suficiente. La mayoría de los ríos pueden experimentar cambios estacionales y diarios en su caudal, debido a las fluctuaciones de las características de la cobertura vegetal, de las precipitaciones y de otras variaciones del tiempo atmosférico como la nubosidad, insolación, evaporación o más bien, evapotranspiración [17].

En este trabajo se refiere a los ríos permanentes, aquellos cursos fluviales que en régimen natural, presentan agua fluyendo, de manera habitual, durante todo el año en su cauce, requisitos que se tuvieron en cuenta para seleccionar el Rio San Vicente como nuestro objeto de estudio [17].

### **Información hidrológica**

La Hidrología, es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades físicas y químicas, y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos; evalúa en forma científica cada una de las partes y relaciones que guardan entre sí los procesos que componen el ciclo hidrológico (precipitación, escorrentía, evapotranspiración, infiltración, etc.); los parámetros que se determinan a través del estudio hidrológico, sirven para el diseño y operación de los proyectos de aprovechamiento del agua, como el caso de una hidroeléctrica, de manera racional [1].

El principal objetivo del estudio hidrológico de la cuenca a la que pertenece el río donde se ubicará el aprovechamiento hidroeléctrico, es conocer el caudal que lleva el río en estudio, tanto en la época de estiaje (época seca) como en la época de lluvia, es decir, el caudal mínimo y caudal máximo respectivamente, así como realizar un cálculo del caudal disponible para el funcionamiento de una micro hidroeléctrica. Entendiendo por “caudal disponible”, el caudal ecológico necesario para que la flora y la fauna no sean afectadas por el funcionamiento del proyecto, ya sea permanente o eventualmente [1].

### **4.3 Caracterización hidrográfica y geomorfológica de la cuenca**

Una correcta descripción de una cuenca hidrográfica debe incluir, al menos, datos relativos a su situación, tamaño, perímetro, ancho y desnivel longitudinal como aspectos generales, longitud, jerarquización y densidad en cuanto a la red de drenaje y, finalmente, otros parámetros de relieve y parámetros de forma como la curva hipsométrica [7].

**4.3.1 Curva de la cota superficie:** esta característica da además una indicación del potencial hidroeléctrico de la cuenca.

La curva hipsométrica representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. Es una curva que representa en ordenadas, las elevaciones o altitudes de la cuenca que se ubica a partir de las superficies de la descarga o salida en abscisa. Se puede considerar a esta curva como una especie del perfil de cuenca de análisis [7].

La distribución espacial de la altitud en la cuenca es fundamental para caracterizar su condición morfológica, es decir, saber qué porcentaje de la cuenca corresponde a zonas de montaña, lomeríos y planicies. Primero se requiere obtener un diagrama de frecuencias que asocie área-altitud; es decir, determinar el valor de área correspondiente a un intervalo de altitud, abarcando el rango comprendido entre las

elevaciones del terreno mínima y máxima. La marca de clase, o intervalo de la altitud, se define a partir de las condiciones topográficas de cada cuenca [7].

Una vez obtenida la relación área-altitud se puede obtener la curva hipsométrica de la cuenca, que no es más que una curva acumulada que parte de la elevación mínima del terreno localizada en la descarga o salida de la cuenca hidrológica de análisis [7].

Se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km<sup>2</sup> o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros. Normalmente se puede decir que los dos extremos de la curva tienen variaciones abruptas [7].

La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación. Es posible convertir la curva hipsométrica en función adimensional usando en lugar de valores totales en los ejes, valores relativos: dividiendo la altura y el área por sus respectivos valores máximos [7].

#### **4.3.2 Perfil y pendiente del cauce**

##### **Perfil del cauce**

Es la representación gráfica en un plano vertical de la curva de elevaciones a lo largo del desarrollo del cauce principal de una cuenca hidrológica [7].

##### **Pendiente media del cauce**

La pendiente de un tramo de río es la relación que existe entre los extremos inicial y final y la distancia horizontal de dicho tramo [7].espacio

La pendiente de la corriente principal, representa un valor medio, ya que cada tramo de río tiene una pendiente propia [7].

En consecuencia, la pendiente media del cauce principal se aproximará más al real, mientras mayor sea el número de tramos seleccionados a lo largo del cauce [7].

De acuerdo con el criterio de Taylor y Schwarz, se considera que el río puede estar formado por una serie de tramos de igual longitud o bien por tramos de longitud variable.

La pendiente media para tramos de igual longitud se determina con la expresión [7]:

$$S = \left[ \frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2 \quad 3.1$$

Donde S es la pendiente media del cauce (%), n número de tramos de igual longitud (adimensional) y  $S_n$  es la pendiente del tramo n (%).

#### 4.3.3 Red de drenaje

La red de drenaje de una cuenca es el sistema interconectado de cauces, a través del cual, el agua captada en las partes altas se recolecta y es conducida a las partes bajas, como se observa en la figura 4.2 [7].

En algunos tramos de los cauces, los bordos o riberas estarán asociados a grandes extensiones planas adyacentes que serán inundadas en la época de avenidas que se le conoce con el nombre de planicies de inundación [7].

Sin embargo unos de los parámetros muy útiles para estudios de proyectos como este, es la clasificación de los ríos según la duración de su descarga. Los cuales pueden ser clasificados en [7]:

1. Corriente perenne: Son las que conducen agua durante todo el año.
2. Corrientes intermitentes: Conducen agua durante algunas semanas o meses.
3. Corrientes efímeras: Conducen agua después de algún evento hidrológico, es decir por un intervalo de horas o días

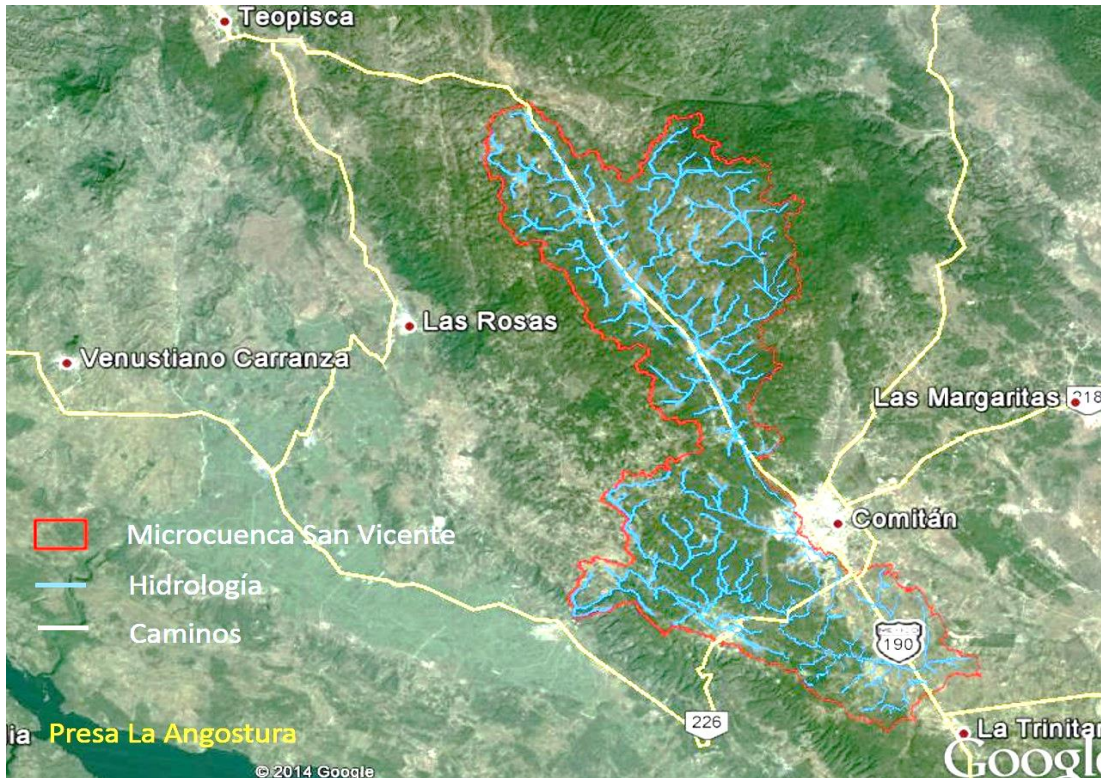


Figura 4.2 Red de Drenaje.

#### 4.3.4 - Densidad de drenaje

Se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca por el área total que las contiene:

$$Dd = \frac{L}{A} \quad 4.2$$

Dónde L es la longitud de las corrientes efímeras, intermitentes y perennes de la cuenca en km y A superficie de la cuenca en km<sup>2</sup>

Este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien que existe mayor potencial de erosión. La densidad de drenaje varía inversamente a la extensión de la cuenca [7].

#### 4.3.5 Caracterización fisiográfica.

En general, para estudiar una cuenca hidrológica se requieren métodos cuantitativos y cualitativos. En el primer caso, es fundamental definir parámetros que representen algunas características particulares importantes, que pueden ofrecer una información relevante acerca de las variables y los procesos hidrológicos [7].

Algunos de los parámetros característicos de mayor interés se presentan a continuación:

**1. Área y Perímetro de la cuenca:** Es la proyección del parteaguas a un plano horizontal, caracterizándose así el tamaño de la cuenca. El valor del área se obtiene de los mapas topográficos a través del uso del planímetro o de otros métodos.

**2. Corriente principal:** Es la corriente de mayor longitud que pasa por la salida de la cuenca hidrológica.

**3. Corrientes tributarias:** Serie de corrientes tributarias con un diferente grado de bifurcación.

**4. Orden de corrientes:** Se determina a partir del grado de bifurcación de las Corrientes tributarias.

a) Corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones.

b) Corriente de orden 2 solo tiene corrientes de orden uno.

c) Y así sucesivamente dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 2 forman una de orden 3, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4.

La jerarquización permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. El orden se relaciona con el caudal relativo del segmento de un cauce.

Hay varios sistemas de jerarquización, siendo los más utilizados el de Horton (1945) y el de Strahler (1952), ver figura 4.3 [7].

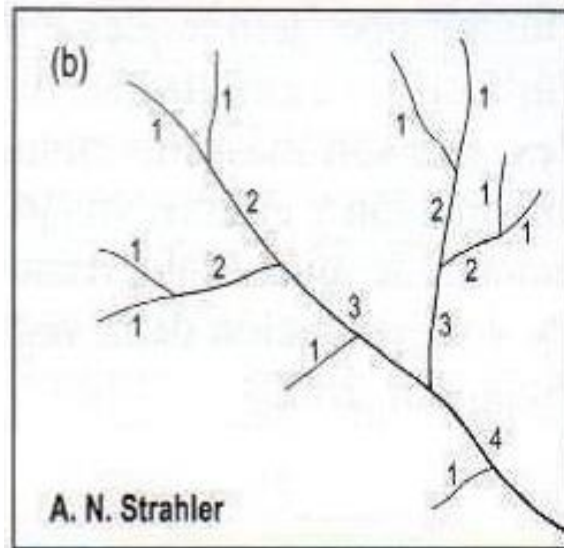


Figura 4.3 Método de Strahle [7].

**5. Elevación media de la cuenca:** Constituye un criterio de la variación territorial del escurrimiento resultante de una región

**6. Rango topográfico:** Variación de la cota altimétrica, en un área determinada.

#### 4.4 Determinación del caudal.

El régimen de caudales de una corriente de agua durante un período determinado, es el único término del balance hidrológico de una cuenca que puede ser medido directamente con una buena precisión. Los otros elementos de ese balance, como las precipitaciones, la evaporación, y otras variables. No pueden ser sino estimados a partir de mediciones observadas en distintos puntos de la cuenca o deducidos de fórmulas hidrológicas, los cuales son siempre estimativos muy aproximados. El régimen de caudales es un dato básico e indispensable, para cualquier diseño hidráulico [7].

#### 4.4.1 Cálculo del caudal por método indirecto o empírico.

Estos métodos se han desarrollado por medio de la correlación múltiple y se emplean para obtener una idea preliminar sobre el gasto de diseño, o cuando no se conocen las características de la precipitación en la cuenca de estudio, y en ellos intervienen como variables, únicamente las características físicas de la cuenca [7]. En este trabajo se utilizará la fórmula del método racional, utilizando la variante de Emil Kuichling (1989) recomendada su utilización para la predicción de los gastos máximos en cuencas rurales pequeñas [7]:

$$Q_p = 0.278 * C * I * A_c \quad 4.3$$

Donde C coeficiente de escurrimiento de la cuenca (adimensional), I intensidad de lluvia en 24 horas (mm/h),  $A_c$  área de la cuenca ( $\text{km}^2$ ) y 0.278 factor de conversión.

Este método asume que el máximo porcentaje de escurrimiento de una cuenca pequeña, ocurre cuando la totalidad de tal cuenca está contribuyendo al escurrimiento, y que el porcentaje de escurrimiento es igual a un porcentaje de la intensidad de lluvia promedio [7].

Para la obtención del coeficiente de escurrimiento a pesar de los criterios de varios autores, lo planteamos como la relación entre el volumen de escurrimiento directo y el volumen de precipitación en la cuenca, en un periodo de tiempo dado [2]:

$$C = \frac{V_{ED}}{V_{LL}} \quad 4.4$$

Donde  $V_{LL}$  volumen de lluvia (mm),  $V_{ed}$  volumen de escurrimiento directo (mm) y C coeficiente de escurrimiento.

**Nota:** Los detalles del desarrollo de esta ecuación se reflejan en: (Aparicio Mijares 1992, pág. 180-185) [1].

En el caso de la intensidad de lluvia se obtendrá por el método probabilístico de Gumbel, es utilizada para modelar la distribución del máximo (o el mínimo), por lo



que se usa para calcular valores extremos. En estudio se utilizó para determinar el gasto máximo para varios períodos de retornos, utilizando las siguientes ecuaciones [1]:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad 4.5$$

Donde  $\bar{X}$  media de los datos de lluvia (mm),  $\sum X_i$  sumatoria de los valores máximos de lluvia (mm) y n número de la muestra.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad 4.6$$

Donde S desviación.

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S \quad 4.7$$

$$u = \bar{X} - 0.5772 * \alpha \quad 4.8$$

$\alpha$  y  $u$  Parametros de la distribucion de Gumbel .

$$y_t = -\ln \left[ \ln \frac{T}{T-1} \right] \quad 4.9$$

$Y_t$ - Reduccion de las variables

T-Período de retorno (años)

$$X_{T'} = u + (\alpha * Y_t) \quad 4.10$$

Precipitacion por periodo de retorno  $X_{T'}$

$$F_x = e^{-e^{-\frac{x-u}{\alpha}}} \quad 4.11$$

$F_x$ - Probabilidad de frecuencia.

**Nota:** Metodología de ecuaciones extraída de (Aparicio Mijares 1992, pág. 263-265) [1].

#### 4.4.2 Determinación del caudal por el método directo de aforo con molinete.

Para realizar esta actividad se debe tener el apoyo de técnicos de aforo o personal con experiencia, para conocer el caudal que circula en cada tramo seleccionado, para ello lo primero que se mide es el área de la sección de aforo [5].

El método para determinar el área, es subdividiendo el área de la sección transversal total del río en el punto de medición en varias áreas más pequeñas, donde se divide el ancho del río en la parte superior de manera equidistante y a cada una de esas distancias se mide la profundidad del río denominado a dichas profundidades ( $h_1, h_2, \text{hasta } h_n$ ) [5]. Como se muestra en figura 4.4 y 4.5. Estas mediciones se realizarán con reglas o cuerdas graduadas o GPS.

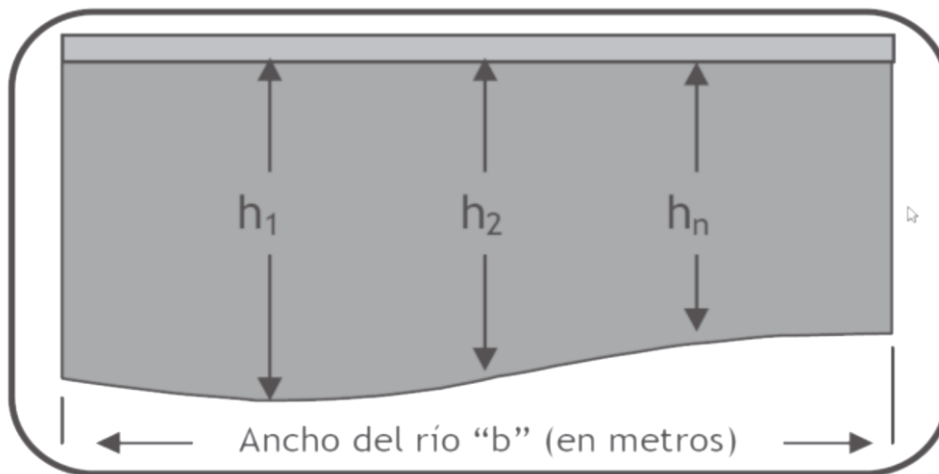


Figura 4.4. Método para determinar el área de la sección transversal [5]

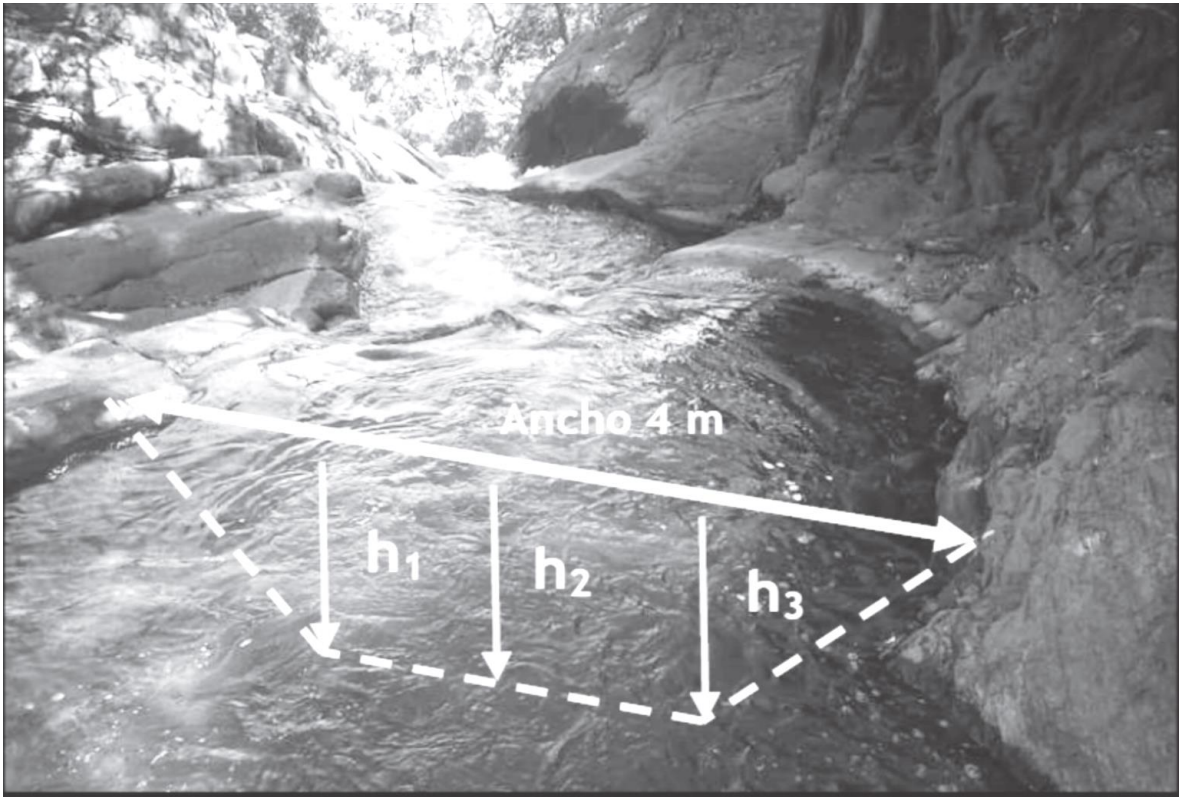


Figura 4.5 Ejemplo de sección de un río, para determinar su área [5].

Una vez que se realizan las mediciones de profundidad, se procede a calcular el área con la ecuación 4.12

$$A=b \frac{h_1+h_2+h_3+\dots+h_n}{n} \quad 4.12$$

Donde b es el ancho de la sección en el río,  $h_i$  profundidad en cada sección y n número de secciones.

Luego se obtiene el parámetro de velocidad a través de las lecturas que se realizan con el molinete. Este es un instrumento con una hélice o rueda de cazoletas que gira al introducirla en una corriente de agua. El de tipo de taza cónica gira sobre un eje vertical (figura 4.6) y el de tipo hélice gira sobre un eje horizontal [5].

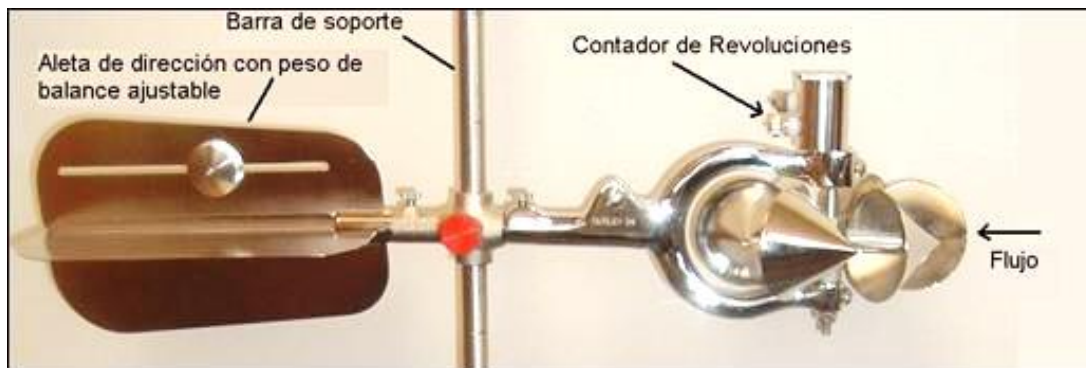


Figura 4.6. Molinete [R.21)

En todos los casos la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de la corriente; y se cuenta el número de revoluciones en un tiempo dado.

Los molinetes pueden ir montados en soportes o suspendidos de cables. Antes de ser usados en el campo, deben ser calibrados por el fabricante para determinar la relación entre la velocidad de rotación de la hélice y la velocidad del agua con las revoluciones por segundo que registra [5]. La ecuación 4.13 muestra los parámetros de calibración.

$$V=m +b*N \tag{4.13}$$

Donde m y b son parámetros de la ecuación de calibración del molinete, cada uno de ellos tiene sus propios valores y n número de revoluciones observadas en el tiempo T, rev/s.

La sección elegida para la medida con el molinete debe estar situada en un tramo recto y de una sección lo más homogénea posible a lo largo de dicho tramo. Una vez que ya se haya medido el área de la sección transversal por donde pasa la corriente del río y la velocidad que posee dicha corriente, se definen el caudal, utilizando la ecuación 4.14 [5].

Es importante también complementar estos datos con el área de aportación, es decir, la cuenca que abastece de agua al punto aforado.

$$Q=V \cdot A$$

4.14

Donde V es velocidad del agua (m/s) y A se refiere al área de sección transversal en m<sup>2</sup> que atraviesa dicha corriente.

#### **4.5 Definición de los saltos hidráulicos y sus características.**

Para la potencia eléctrica que se obtienen en los proyectos hidroeléctricos que es directamente proporcional a la altura del salto de agua y el caudal, es necesario definir algunos términos [36]:

**Cota:** valor de altura a la que se encuentra una superficie o punto respecto al nivel del mar.

**Salto de agua:** Paso brusco o caída de masas de agua de desde un nivel, más o menos constante, a otro inmediatamente inferior. Numéricamente se define como la diferencia de cota (altura del salto)

La altura del salto es la distancia vertical de desplazamiento del agua (figura 4.7), por lo que aprovechamiento hidroeléctrico se deben tener en cuenta tres aspectos [36]:

1. Salto bruto, o distancia comprendida entre el nivel máximo de aguas arriba del salto y el nivel normal del río donde se descarga el caudal turbinado.
2. Salto útil, o desnivel comprendido entre la superficie del agua en el punto de carga y el nivel de desagüe de la turbina.
3. Salto neto, o altura del salto que impulsa la turbina y que es igual al salto útil menos las pérdidas de carga producidas a lo largo de la conducción forzada, si existiese.

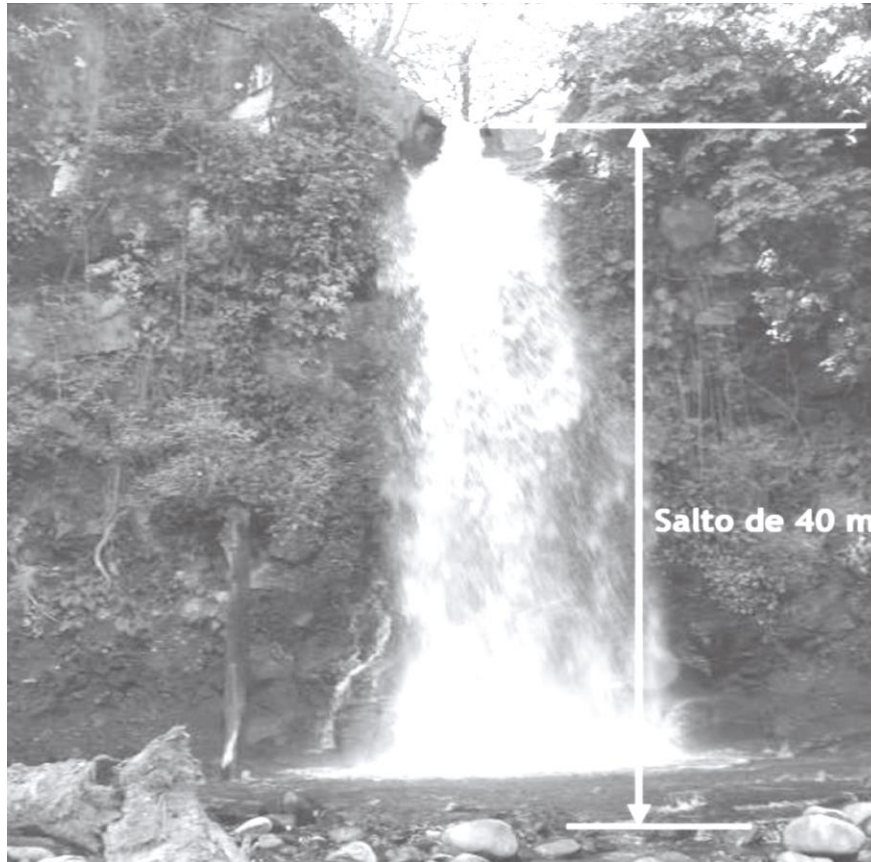


Figura 4.7. Salto hidráulico [5].

Clasificación del salto hidráulico propuesta por Ludin, y adoptado por otros autores [36]:

1. Saltos de pequeña altura:  $H \leq 14.99$  m. (Se recomiendan turbinas Kaplan, Hélices, Francis exprés y de flujo transversal o turbina Mitchell-Banki).
2. Saltos de mediana altura:  $15 \leq H \leq 49.99$  m.
3. Saltos de gran altura:  $H \geq 50$  m. (Se recomiendan turbinas Francis lenta y Pelton).

En este trabajo para medir la altura del salto hidráulico o desnivel, que exista en cada tramo del río, se empleó una cinta métrica y una estación total o para determinar el desnivel o altura [5].

#### 4.6 Cálculo del potencial hidráulico

La teoría que han expuesto varios autores, encaminadas a la determinación del potencial de la energía hidráulica, es variada pero ellas agrupan los parámetros que definen el potencial, por lo que utilizamos la (ec 4.15), la cual se rige en función del desnivel existente, entre el nivel medio de un embalse o río aguas arriba del hidrogenarador y el nivel medio aguas abajo, y del caudal máximo que pueda mover las turbinas, además de las características de las turbinas y de los generadores [5]. En términos de electricidad lo más importante es relacionar el potencial hidráulico con la potencia eléctrica en watts que puede obtener del recurso hidráulico y se estima utilizando la siguiente ecuación [5].

$$P=\rho*g*Q*h \quad 4.15$$

Dónde  $\rho$  es la densidad del agua ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ),  $g$  aceleración de la gravedad ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ),  $Q$  caudal del agua ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) y  $h$  = es la altura o distancia medida entre la parte alta y la parte baja de una cascada del río, esta distancia es conocida también como salto bruto y se expresa en metros.

No existe consenso para definir la micro hidrogenación. Los criterios utilizados pueden variar de país a país, en nuestro caso los más usados de acuerdo a la potencia instalada son los referidos en la tabla 3.1 [20].

Esto permite que a la hora de realizar cualquier proyecto hidroenergetico, y sepamos los requerimientos en cuanto a la potencia eléctrica que se necesite, viabiliza la adecuación de nuestro hidrogenarador a instalar [20].

#### 4.7 Selección y propuesta de los hidrogenadores que se ajusten a los resultados de la obtención del potencial hidroenergético.

La selección de las turbinas hidráulicas depende de los factores siguientes [25]:

1. Características del sitio (a filo de agua, embalse reducido).

2. Caída vertical requerida para su funcionamiento.
3. Caudal mínimo disponible en el sitio.
4. Velocidad del rodete versus rpm requerido por el generador.
5. Posibilidades de operar la microturbina con caudales reducidos.

En términos generales, los distintos tipos de hidroturbinas a utilizar estarán sujetos a las condiciones de campo predominantes en los sitios propuestos para su funcionamiento. En la caída vertical [25].

Tabla 4.1 Rango de caídas vertical del turbinas [25].

Tipo de turbina	Rango de caída vertical (m)
Kaplan y Propelas	2-40
Banki/Mitchell	2-25
Francis	10-350
Turgo	50-250
Turgo	50-1300

Como se ha mencionado anteriormente, cada tipo de turbina tiene condiciones adecuadas de altura y caudal para obtener el mejor comportamiento. Para los diseñadores experimentados de proyectos hidroeléctricos resulta fácil identificar el tipo de turbina que se debe utilizar para una condición específica de altura y caudal, aunque de todos modos tendrán que comprobarlo mediante cálculos simples; para aquellos con poca o ninguna experiencia, resulta difícil identificar la turbina adecuada a primera vista y se requieren utilizar algunos parámetros para seleccionar la máquina. Por este motivo se han desarrollado algunas técnicas que permiten hacer una selección rápida de acuerdo a las condiciones físicas del lugar de instalación (altura y caudal), incluyendo diagramas o tablas donde se consigna el tipo de turbina y su campo de aplicación [16].



Lo importante para diseñar cualquier proyecto hidroeléctrico es saber cómo se comportará la turbina en las condiciones particulares de altura y caudal, así como qué pasará con la turbina cuando haya variaciones de cualquiera de esos parámetros. Lo más frecuente es que el caudal varíe durante el año, en algunas ocasiones puede haber variación de altura por pérdidas en la tubería cuando esta envejece. Al diseñador le importa también saber qué pasa con la turbina si es que la instala en un lugar con altura diferente [16].

Para conocer las características técnicas de comportamiento de una hidroturbina es necesario hacer una serie de ensayos controlados donde se puedan medir los parámetros con precisión, también se requiere simular el trabajo de estas máquinas en amplio rango para cada uno de los parámetros indicados. La única forma que existe es a través de las leyes de semejanza de las turbinas. La ley de semejanza establece que una turbina de gran dimensión utilizada en un gran sistema de generación se comporta igual que su semejante de laboratorio; esto ha permitido que en la actualidad uno pueda recurrir a gráficos proyectados en base a experimentos de laboratorio que nos permiten predecir el comportamiento en cuanto a eficiencia y rendimiento de la máquina que usaremos. Los parámetros más utilizados de las leyes de semejanza son [16]:

$$\text{Velocidad específica de giro de potencia: } N_s = \frac{N\sqrt{P}}{h^{5/4}} \quad 4.16$$

$$\text{Velocidad específica de caudal: } N_q = \frac{N\sqrt{Q}}{h^{5/4}} \quad 4.17$$

Donde  $N_s$  y  $N_q$  son números específicos de revoluciones de potencia y de caudal respectivamente,  $N$  velocidad de rotación de la turbina en revoluciones por minuto (rpm),  $P$  potencia de la turbina (kW),  $Q$  caudal de trabajo de la turbina ( $m^3/s$ ) y  $h$  altura (m).

Tabla 4.2. Tipos de turbinas según velocidades específicas. [19].

Ns (m-KW)	TIPO	CARGAS MÁXIMAS h(m)
4 - 35	Peltón de 1 Chiflón	2 200
17 - 50	Peltón de 2 Chiflones	2 200
20- 60	Peltón de 3 Chiflones	2 200
24 - 70	Peltón de 4 Chiflones	2 200
30 - 85	Peltón de 6 Chiflones	150
70	Francis Lenta	380
100	Francis Lenta	220
150	Francis Lenta	110
200	Francis Normal	80
250	Francis Normal	60
300	Francis Rápida	45
350	Francis Rápida	35
400	Francis Express	30
450	Francis Express	25
300	Kaplan y Hélice	70
500	Kaplan y Hélice	40
800	Kaplan y Hélice	10
1000	Kaplan y Hélice	6

Ambas magnitudes se pueden usar indistintamente, sin embargo para las turbinas hidráulicas lo más común es el uso del Ns [16], que será el utilizado en este trabajo para seleccionar y proponer el hidrogenador adecuado a cada sitio estudiado.

#### **4.8 Conclusiones del capítulo**

Se ha comprobado que para la realización de pequeños proyectos hidroeléctricos no existe una metodología estandarizada, que permita llevarlos a cabo de forma regular en cada sitio a desarrollar, sin embargo en este capítulo se resume una metodología ajustada al estado de Chiapas y en particular a nuestra zona de estudio, donde se tomaron criterios actuales y existentes en el terreno, de acuerdo a nuestras posibilidades y alcance de nuestro trabajo, lo cual permitió que en cada parte desarrollada para la obtención los parámetros que intervienen en el cálculo del potencial hidroenergetico, fuera considerado bajo este criterio .

## **CAPITULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## 5.1 Introducción al capítulo

Teniendo en cuenta los procedimientos y objetivos propuestos para cumplir con el desarrollo de este estudio, se hace referencia en este apartado de los resultados obtenidos, en cada uno de los aspectos metodológicos que se mencionaron en el capítulo anterior, en cuanto la determinación de cada uno de los parámetros que intervienen en la obtención del potencial hidráulico, como el caudal por método directo e indirecto y el perfil altimétrico, para la obtención de algunos de ellos se realizaron mediciones en campo en el área seleccionada para la investigación, lo que permitió corroborar información que se habían obtenidos a través de base de datos, lográndose resultados favorables de acuerdo a los objetivos trazados en este trabajo.

## 5.2 Caracterización de área de estudio

Como producto final de la evaluación de la zona de trabajo y teniendo en cuenta las características de la zona de trabajo donde se ubica el río San Vicente, se determinaron datos fisiográficos siguientes:

Tabla 5.1. Datos fisiográficos de la microcuenca del río San Vicente

Área	455.83	km <sup>2</sup>
Perímetro	256.06	km
Longitud del cauce principal	77.55	km
Orden de corriente	5	adimensional
Rango topográfico	644 a 2485	msnm
Elevación media	1889.69	msnm
Pendiente media	1.21	%

Nota: Esta información se procesó a través del programa ArcGis 10.1.

Se recopilaron los datos de las alturas de precipitación registrada por cada una de las estaciones climatológicas de CONAGUA y CFE (anexo 1) que inciden en la cuenca del Rio San Vicente y los registros de gastos que fueron realizados en la estación hidrométrica Tzimol Caídas de la antigua Secretaria de Recursos Hidráulicos (Jefatura de Irrigación y Control de Ríos). Dirección de Hidrología) (anexo 2), estaba ubicada en Lat. N. 16°11'30"; Long. W. G. 92°09'30", esta estación estuvo junto al poblado de Tzimol a unos 18 km al este de Comitán, Chiapas. Los aforos se realizaron por el método de sección y velocidad utilizando molinete hidráulico. Se iniciaron el 1 de septiembre de 1963 y se suspendieron el 30 de junio de 1967, por conflictos políticos en esa zona.

### 5.3 Caracterización hidrográfica y geomorfológica de la cuenca

#### Gráfico de la curva hipsométrica

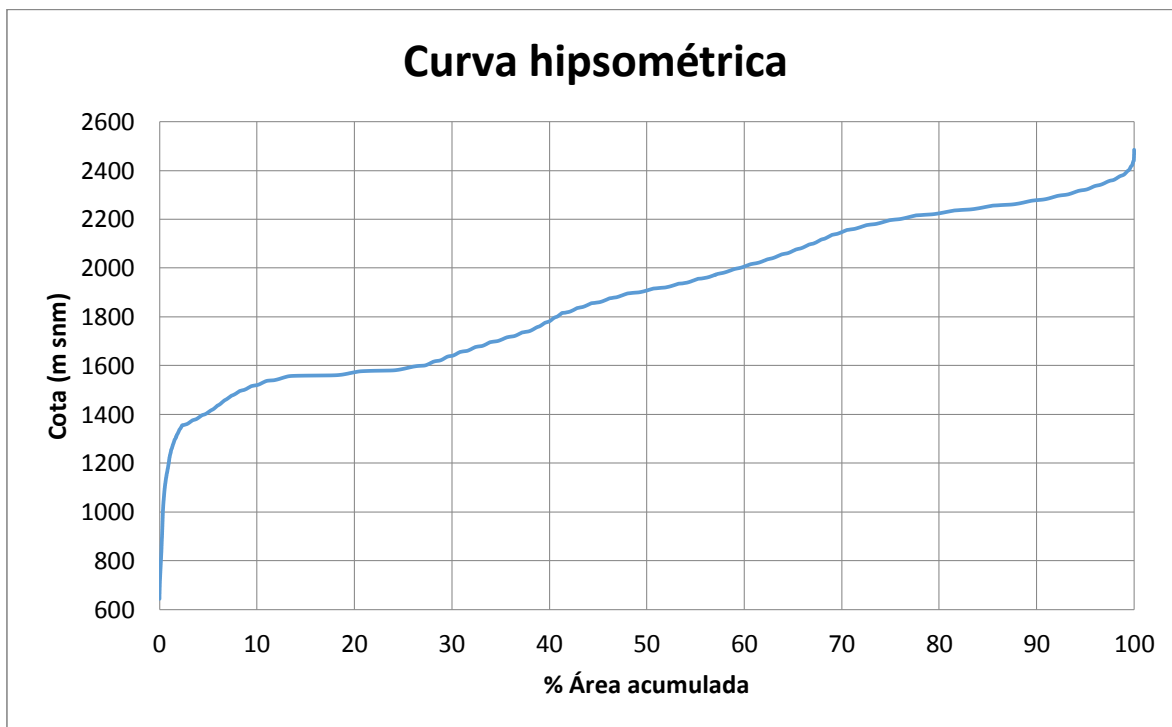


Grafico 5.1 Curva hipsométrica.

### Pendiente media del cauce principal

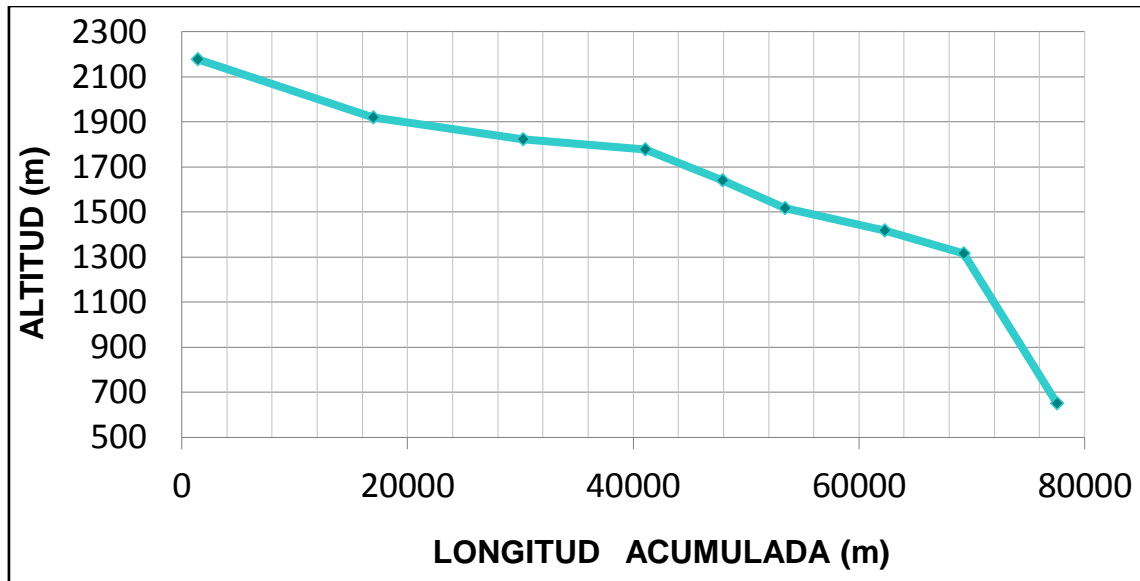


Grafico 5.2 Perfil de la pendiente media del cauce.

La pendiente media del cauce principal fue determinada través del programa ArcGis 10.1, la cual es de 1.21 %.

### Red de Drenaje.

En nuestro caso nuestro rio está clasificado de corriente perenne

La densidad de drenaje que presenta el rio San Vicente es de 0.91 km corriente/km<sup>2</sup>

### 5.4 Cálculo del caudal por el método lluvia–escurrimiento, utilizando la distribución de Gumbel.

Este caudal se determina por el método lluvia-escurrimiento con el objetivo de proteger cualquier obra de captación y la instalación de pequeños proyectos microhidroeléctricos que se deseen realizar en esta área de estudio, de las grandes avenidas que se pueden originar en tiempo de lluvia en 24 horas con un tiempo de retorno de 2, 4, 6, 8, y 12 años, se tomaron 22 de años de muestra (Anexo 1), de cada una de la estaciones, que sus registros de precipitación tienen influencia en

nuestra área de estudio las cuales se denominan Zapaluta (Latitud: 16.09 N, Longitud: -92.03 W), Villa Las Rosas (Latitud: 16.36 N, Longitud: -92.36 W), Abelardo Rodríguez (Latitud: 16.37" N, Longitud: -92.23" W) y Tzimol (Latitud: 16.19 N, Longitud: -92.26 W ). Por la ecuación del método racional, utilizando la variante de Emil Kuichling [ec 5.1] [7]. Obteniéndose los resultados de gastos correspondientes a los diferentes periodos de retorno ya mencionados (tabla 5.2).

$$Q_p = 0.278 * C * I * A_c \quad 5.1$$

Donde el coeficiente de escurrimiento (C), para cuenca la Angostura es de 0.04, I intensidad de lluvia en mm/h y  $A_c$  área de la cuenca en  $km^2$  [2].

Para localizar y ubicar el área de influencia de cada estación, se tomó como referencia la base de datos que nos proporcionó la CONAGUA con las coordenadas y nombre de las estaciones que estaban en nuestra área de estudio, y con el programa Google Earth que a través de las coordenadas de cada estación permite observar cuales de ellas están dentro de nuestra zona de trabajo o próximo a ella y posteriormente con el programa de sistema de información geográfica ArcGis 10.1 se delimitó el área de influencia de las estaciones que estaban más próximas nuestra área estudio o dentro de ellas ,ver figura 5.1.



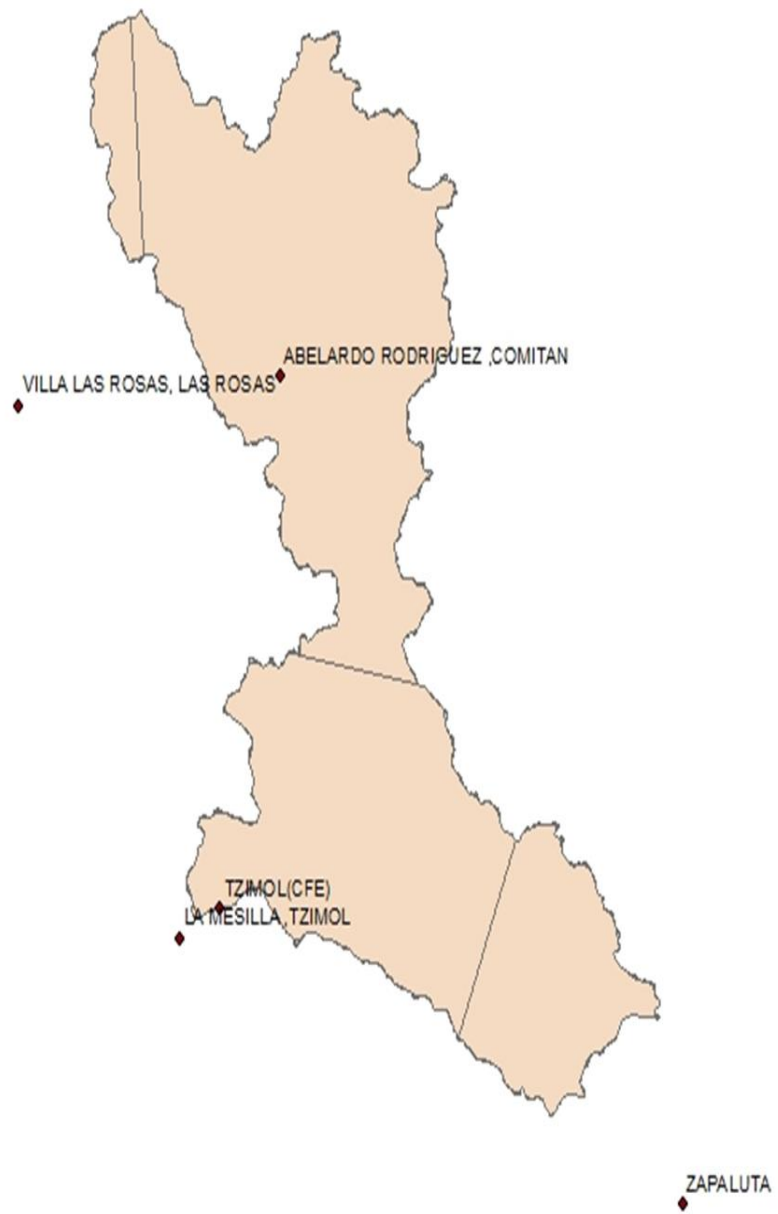


Figura 5.1 Estaciones climatológicas en nuestra área de estudio

Los resultados del Método Lluvia – Esguerrimiento, utilizando la Distribución de Gumbel, se pueden observar en las tablas 5.2 y 5.3, donde en la primera se obtienen las lluvias máximas que podrían ocurrir en un tiempo de 24 horas, teniendo en cuenta los diferentes años de retornos y en la segunda la intensidad de lluvia, conjuntamente con el gasto teórico respectivamente [1]

Tabla 5.2 Precipitación máxima en 24 horas para diferentes años de retorno.

Estaciones climatológicas	Tiempo de duración (horas)	Precipitación máxima diaria pd(mm) por tiempos de duración				
		2 años	4 años	6 años	8 años	12 años
Zapaluta	24	289	311	322	330	340
Abelardo Rodríguez	24	294	318	330	339	350
Villa las rosas	24	377	406	421	432	446
Tzimol (CFE)	24	294	306	313	317	323

Método Lluvia – Esguerrimiento, Utilizando La Distribución De Gumbel [1].

Tabla 5.3 Intensidad de la lluvia en 24 horas para diferentes años de retorno, y el gasto calculado teniendo en cuentas estas intensidades

Intensidad de la lluvia(mm/h) según periodo retorno							
Estación	horas	minuto	2 años	4 años	6 años	8 años	12 años
Zapaluta	24	1440	12.0541	12.9614	13.4319	13.7533	14.1951
Abelardo Rodríguez	24	1440	12.2740	13.2646	13.7783	14.1291	14.6115
Villa las rosas	24	1440	15.7279	16.9433	17.5736	18.0041	18.5960
Tzimol (CFE)	24	1440	12.2681	12.7833	13.0505	13.2330	13.4839
Intensidad promedio de lluvia			13.0810	13.9881	14.4586	14.7799	15.2217
Gasto de la cuenca (m <sup>3</sup> /s)			66.3058	70.9037	73.2884	74.9168	77.1562

### 5.5 Calculo del gasto por el método directo de aforo sección área velocidad.

Para la realización de estos trabajos se tuvo el apoyo de estudiantes, de hidrología de la facultad de Topografía de la UNICACH, CITDER, se contrató una empresa privada para el levantamiento topográfico y en el caso del equipo de medición de aforo (molinete) como se aprecia en la figura 5.3, fue un apoyo del departamento hidrométrico de CFE en el estado de México.

#### Instrumentos utilizados



Molinete LOVY-MICRO SWITCH-IMAN



Medidor electrónico



Varilla de soporte



Cable de conexión

Figura 5.2. Instrumentos utilizados en el aforo del Rio San Vicente.

Como este caudal es el determinante, para saber de manera certera cual es el potencial hidráulico disponible, se realizaron las mediciones en el mes de mayo, mes perteneciente a la época de estiaje donde prevalece el caudal mínimo y medio de cada río.

Para poder hacer un mejor estudio de los resultados se decidió hacer aforos en tres secciones diferentes en el curso de río (anexos 4 - 9), midiéndose en diferentes horarios y días (figura 5.3 y 5.4), para obtener un mejor registro del comportamiento del caudal del Río San Vicente.

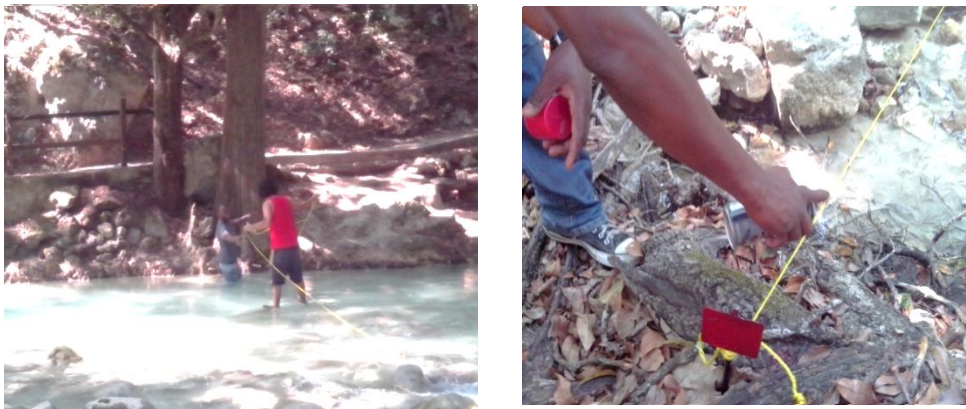


Figura 5.3 Preparación de las secciones para el aforo

### Realizando aforos por el método de vadeo en el río San Vicente

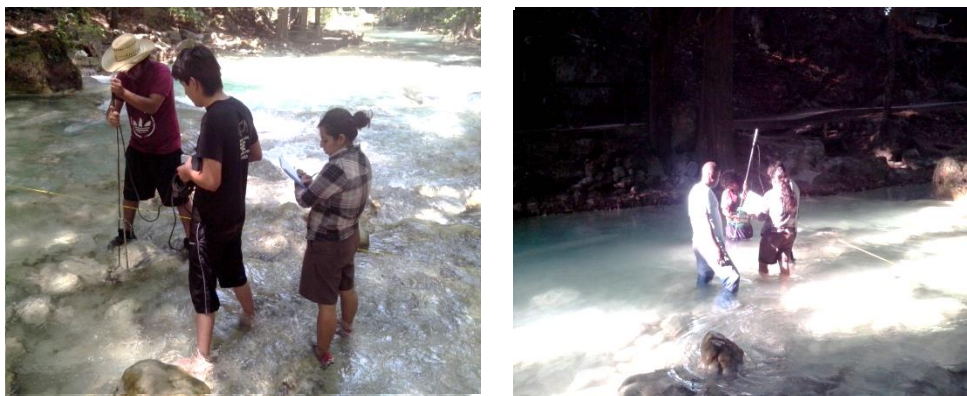


Figura 5.4. Aforo de secciones del río

Una vez realizadas las mediciones de la profundidad en las secciones de aforo y con la ayuda del programa AutoCAD, se construye el área de la sección transversal ocupada por el caudal del río en cada una de ellas (figura 5.5)

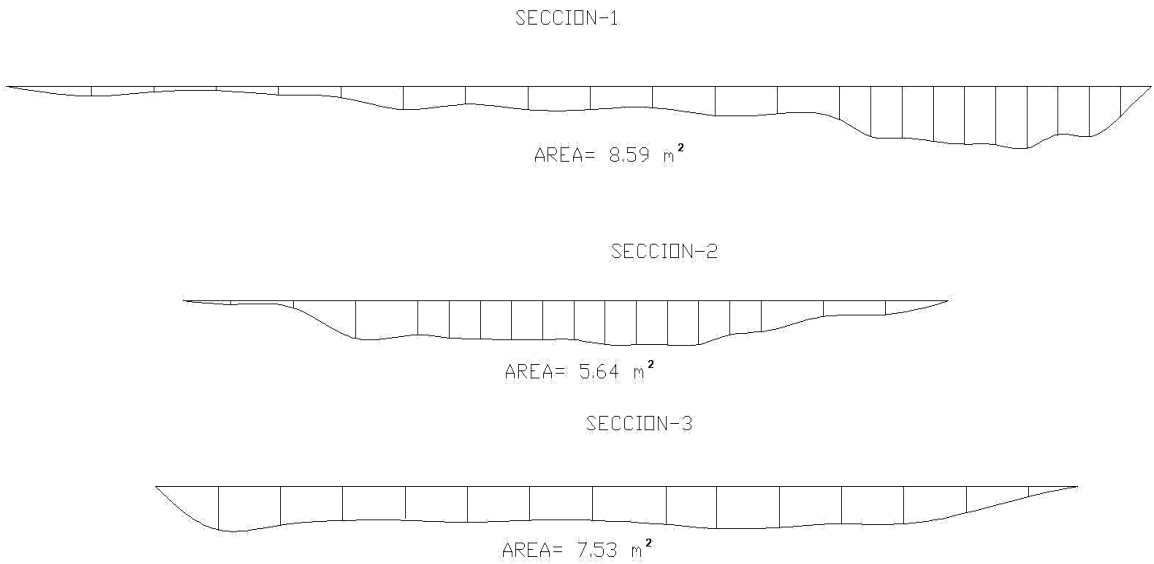


Figura 5.5. Geometría y área de cada sección.

Una vez determinado el área de cada sección, y la velocidad media del flujo de agua respectivamente, se calculó el gasto de diseño por la siguiente ecuación:

$$Q=V*A$$

5.2

Tabla 5.4 Áreas calculadas de cada sección.

Descripción	Área (m <sup>2</sup> )
Seccion-1	8.59
Seccion-2	5.64
Seccion-3	7.53

Tabla 5.5 Velocidades medias de cada sección y del rio San Vicente

Descripción	Velocidad media(m/s)
Seccion-1	0.521433333
Seccion-2	0.649391667
Seccion-3	0.374057692
Rio S. Vicente	0.514960897

Tabla 5.6. Gasto calculado en cada sección y del Rio San Vicente.

Descripción	Gasto promedio(m <sup>3</sup> /s)
Seccion-1	4.453463356
Seccion-2	3.672277492
Seccion-3	2.84312648
Rio S. Vicente	3.656289109

Resultado de los parámetros medidos en campo de área, velocidad y gasto del Rio San Vicente.

Luego de haber realizado los aforos por el método de vadeo y obtener las velocidades respectivamente, que conjuntamente con el área de cada sección se obtuvo el caudal del río, se compararon con los caudales medidos en la estación

hidrométrica Tzimol Caída CFE (1963-1967), y se pudo observar que están en los rangos reales de caudales que siempre ha tenido el río San Vicente en época de estiaje.

### **5.6 Localización de los saltos hidráulicos y sus características.**

Se realizó un recorrido de 2 km (figura 5.6) y se seleccionó para el estudio del potencial hidráulico en el Río San Vicente 2 puntos los cuales coinciden donde se encuentra ubicado el Complejo Ecoturístico el Chiflons, perteneciente al municipio de Socoltenango para el cálculo del potencial hidroenergetico; estos fueron el Salto hidráulico denominado El Suspiro y El ala de Ángel, por ser los únicos puntos que tenían acceso permitido por la vegetación y la topografía.

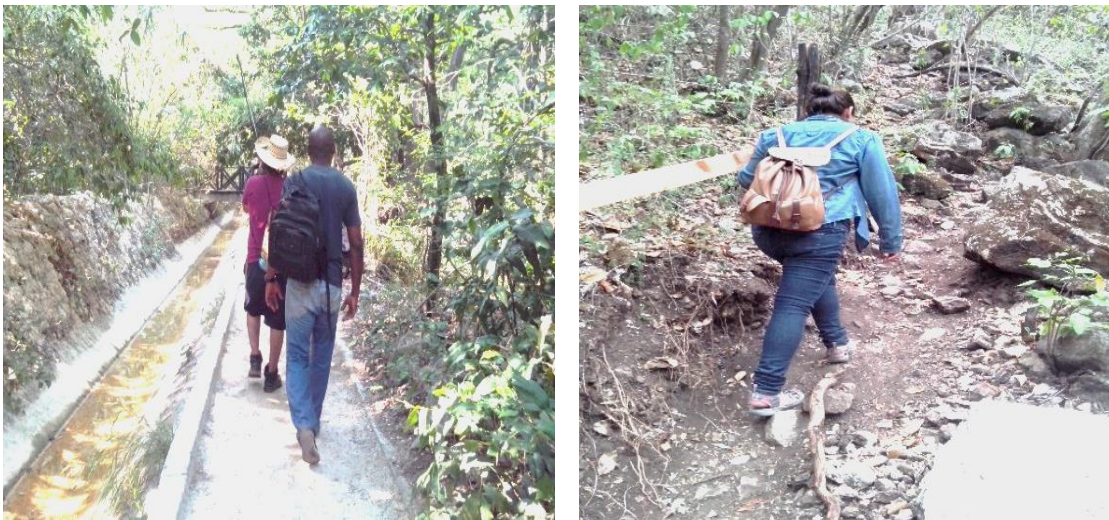


Figura 5.6 Recorrido de 2 km en la zona de trabajo, para seleccionar los posibles puntos con potencial hidráulico.

En este reconocimiento se pudieron introducir los equipos de medición topográfica y reconocimiento para medir el desnivel de cada uno de los saltos hidráulicos antes mencionados, ver figura 5.7



Prisma de la Estación



Estación Total, Sokkia set 500



Receptor Magellan, Promark 3



Trípode

Fig. 5.7 Instrumentos utilizados para el estudio altimétrico de los saltos hidráulicos y su ubicación en el terreno.



## 5.6.1 Puntos seleccionados para determinar el potencial hidráulico.

### 5.6.1.1 Salto Hidráulico, Cascada el Suspiro



Figura 5.8 Cascada el suspiro

El área seleccionada como inicial para obtener el desnivel está ubicado en latitud  $16.193558^\circ$  y longitud  $-92.268331^\circ$ , con una cota de elevación aguas arriba a esta cascada 745 metros sobre el nivel del mar.

Para tomar la altura para el cálculo del potencial con respecto a los dos saltos hidráulicos seleccionados y el punto aguas abajo seleccionado como punto de evaluación del potencial, se tomaron 2 desniveles. El primero teniendo en cuenta la diferencia de cota de cada área de referencia y el segundo, realizando una posible trayectoria de un trazado de una tubería desde el punto de captación con 749 metros sobre el nivel del mar hasta donde pudiera estar ubicado el hidrogenerador con 683 metros sobre el nivel del mar (figura. 5.9). Esta proyección se realizó utilizando las

coordenadas UTM tomadas en el área de estudio con una estación total Sokkia Set 500 Modelo, procesado con el programa ArcGis 10.1 y trazado en Google earth.

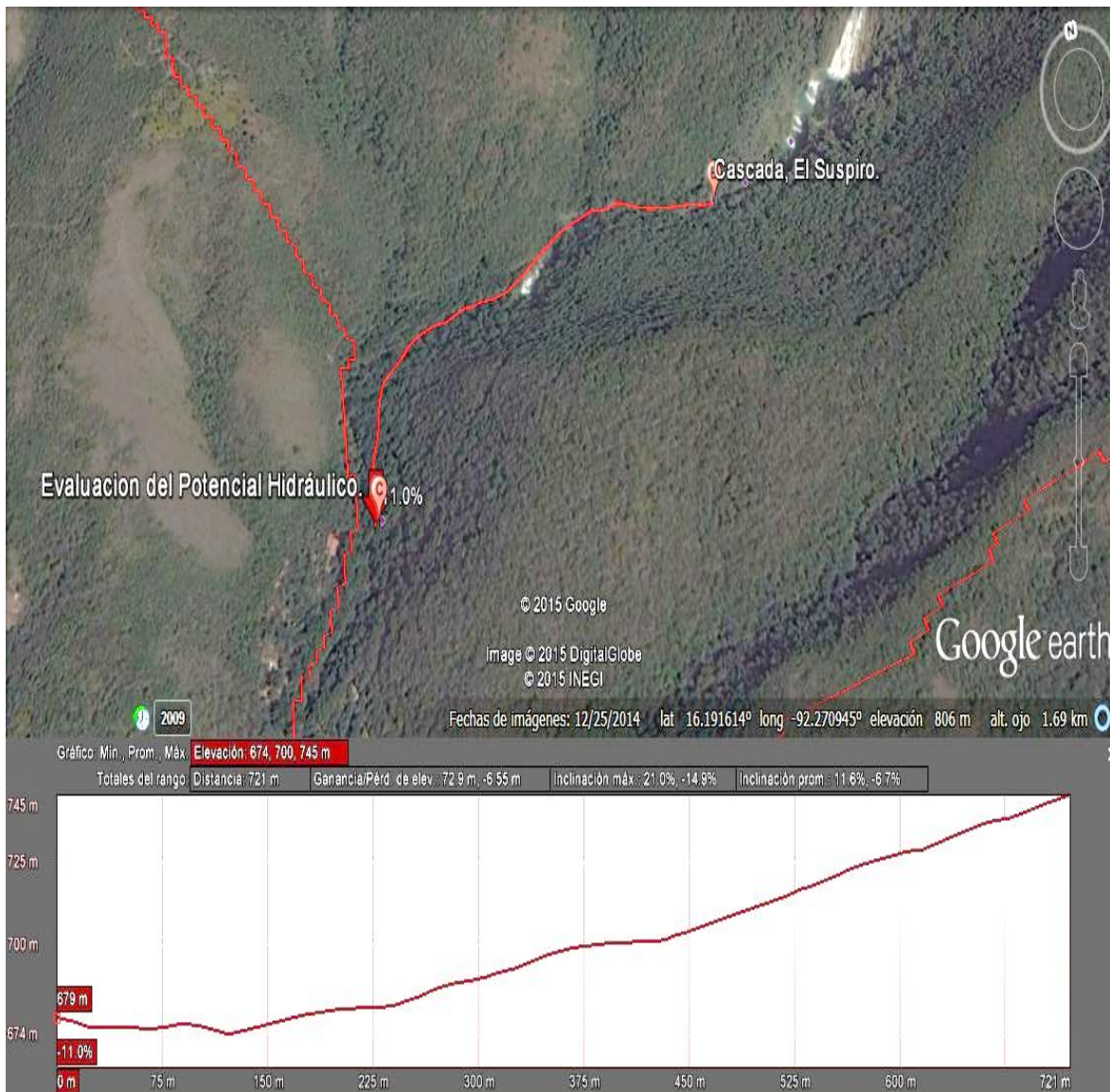


Figura 5.9 Trazado y Perfil para determinar el potencial hidráulico. “Cascada el Suspiro”.

Como resultado se obtuvo que la altura teniendo en cuenta la diferencia de cota entre las áreas de referencias es de 62 metros que la denominamos altura # 1 y la

altura del trazado en el terreno de una posible instalación de una tubería teniendo en cuenta el desnivel es de 66 metros que la llamamos altura # 2.

#### 5.6.1.2 Salto Hidráulico, Ala de Ángel



Figura 5.10 Cascada “Ala de Ángel”

El área seleccionada como inicial para obtener el desnivel en este punto, está ubicado en latitud  $16.193702^{\circ}$  y longitud  $-92.267409^{\circ}$ , con una cota de elevación aguas arriba a esta cascada 754 metros sobre el nivel del mar.

Para la segunda altura en este caso se realizó el mismo procedimiento descrito en el salto anterior para el trazado de una posible instalación, desde 763 metros sobre el nivel del mar hasta 683 metros sobre el nivel del mar.

Obteniéndose como resultado teniéndose como referencia, la diferencia entre las cotas elevación, una altura de 71 metros sobre el nivel del mar (altura # 1) y con el respecto al trazado se obtuvo una diferencia de altura de 80 metros sobre el nivel del mar (altura # 2) (figura 5.11).

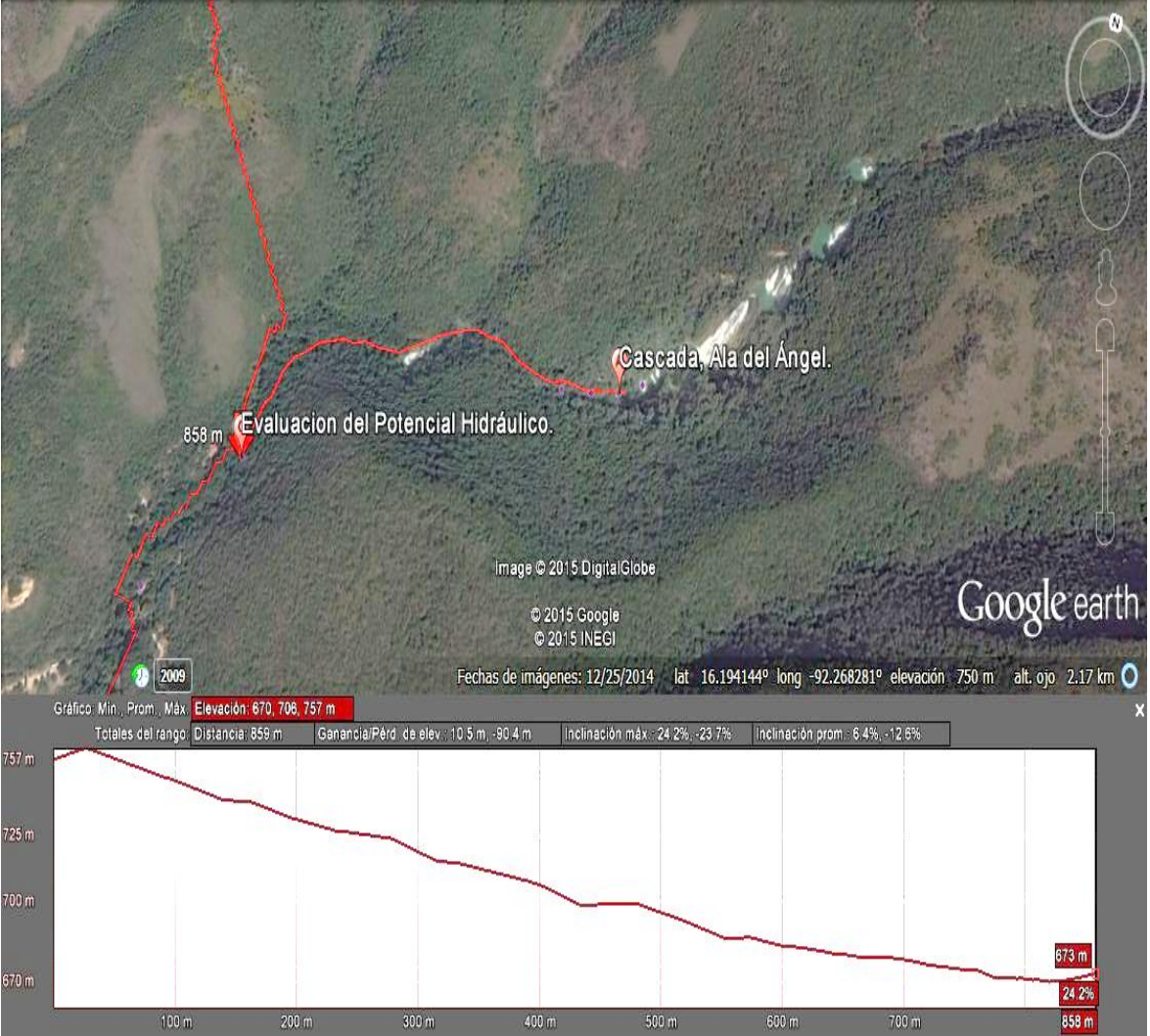


Figura 5.11- Trazado y perfil para determinar el potencial hidráulico. Cascada “Ala de Ángel”.

### 5.6.1.3 Punto de referencia para evaluar el potencial hidráulico, desde el Salto hidráulico el Suspiro y Ala de Ángel.



Figura 5.12. Zona de evaluación del potencial Hidráulico.

Esta zona de trabajo referenciada para evaluar el potencial hidráulico se seleccionó teniendo en cuenta, su fácil acceso y maniobrabilidad en ella, no es una zona de inundación por las avenidas y su aprovechamiento no afecta al entorno ecoturístico. Esta área de referencia aguas abajo del Salto hidráulico el Suspiro y Ala de Ángel, se localiza en latitud  $16.191641^{\circ}$  y longitud  $-92.273250^{\circ}$ , con cota de elevación de 683 metros sobre el nivel del mar.

## 5.7 Determinación del potencial hidráulico.

Una vez que se obtuvieron, los parámetros de caudal y altura, medidos en campo en los puntos seleccionados para nuestro estudio, se procedió a calcular el potencial hidráulico, a través de la ecuación 3.14.

El valor del potencial en esta ecuación va a estar expresado en  $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^3$ , que es lo equivalente a 1 watt.

Tabla 5.7 .Calculo del Potencial Hidroeléctrico Rio San Vicente.

Calculo del potencial hidroeléctrico rio San Vicente								
			Alturas	Potencial hidráulico		Alturas	Potencial hidráulico	
Q	3.66	$\text{m}^3/\text{s}$	El Suspiro	watt	kw	Ala del Ángel	watt	kw
$\rho$	1000	$\text{kg}/\text{m}^3$	$h_1= 62 \text{ m}$	2226085	2226	$h_1= 71 \text{ m}$	2549227	2549
g	9.81	$\text{m}/\text{s}^2$	$h_2= 66 \text{ m}$	2369704	2370	$h_2= 80 \text{ m}$	2872368	2872

Dónde: Q caudal,  $\rho$  densidad del agua y g aceleración de la gravedad.

## 5.8 Selección y proposición del hidrogenerador (turbina).

### 5.8.1 Selección del Hidrogenerador

Para seleccionar el hidrogenerador que se adecúe a los resultados del cálculo de potencial en nuestra área de investigación, se utilizaron los criterios planteados en por Dávila [16], que se refiere a la selección de turbinas hidráulicas, teniendo en cuenta la velocidad específica de giro de potencia, la cual también involucra el parámetro de altura o desnivel en el terreno y las revoluciones (rpm) de cada turbina que se vaya a seleccionar, utilizando la ecuación 4.16.

Pero para orientarse acerca del tipo de turbina que se debe de seleccionar calculando la velocidad específica de giro de potencia, primeramente utilizando la altura del salto hidráulico se focaliza los tipos de hidrogeneradores que trabajan con estos desniveles apoyándose en la tabla 4.2, donde el rango de los 2 saltos estudiados, están entre 62 - 80 metros de altura. Como resultado se obtuvo que la

turbinas Francis y las Kaplan y Hélice son las idóneas para trabajar en estos rangos de carga hidráulica, por lo que fue en estos dos perfiles que se decidió hacer la propuesta.

Luego se tomaron los valores máximos de trabajo de ambos tipos de turbinas la cual es de 300 r.p.m (tabla 5.8). Para finalmente calcular velocidad específica de giro de potencia (tabla 5.9).

Tabla 5.8 Tipos de turbinas y rango de trabajo [34]

Turbina	Tipos de turbinas y sus rangos de trabajo			
	Potencia unitaria	q(m/s)	n(r.p.m)	h (altura)
Pelton	1-10	1 - 10	1500 - 600	> 400
Francis	1 - 1000	10 - 1000	300 - 75	50 - 400
Kaplan	1 - 800	< 50	300 - 75	25 - 100
Hélice	1 - 100	10 - 50	300 - 150	25 - 100
Diagonales	1 - 100	10 - 50	300 - 150	< 20
Generador periférico(Straflo)	5 - 20	1 - 20	75 - 45	< 20
bulbo	5 - 20	1 - 20	75 - 45	< 20

Tabla 5.9- Calculo de la velocidad específica de giro de potencia.

Calculo de la velocidad específica de giro de potencia (Ns)					
Parámetros		Salto hidráulico(EI Suspiro)		Salto hidráulico (Ala del Ángel)	
Alturas	h(m)	h1= 62 m	h2= 66 m	h1= 71 m	h2= 80 m
Potencial	p(kw)	2226	2370	2549	2872
rpm	n	300	300	300	300
V.e.g.potencia	ns	81	78	73	67

Una vez determinado la velocidad específica de giro de potencia (Ns), utilizando este resultado se procede a la selección de la turbina idónea para cada salto hidráulico antes mencionados, apoyándonos en los criterios de selección de la tabla 5.10 y la figura 5.13, además de adecuarse sus características reales y teniendo

en cuenta todos los parámetros que interviene en la determinación del potencial hidroeléctrico.

Tabla 5.10. Turbinas Hidráulicas y velocidades específicas [16].

Tipo de turbina	Rango de velocidades específicas (Ns)
Pelton	4 - 26
Turgo	20 - 56
Flujo transversal	20 - 170
Bombas como turbinas	30 - 170
Francis(carcasa espiral)	45 - 300
Francis(de pozo)	255 - 300
Kaplan y hélice	255 - 800

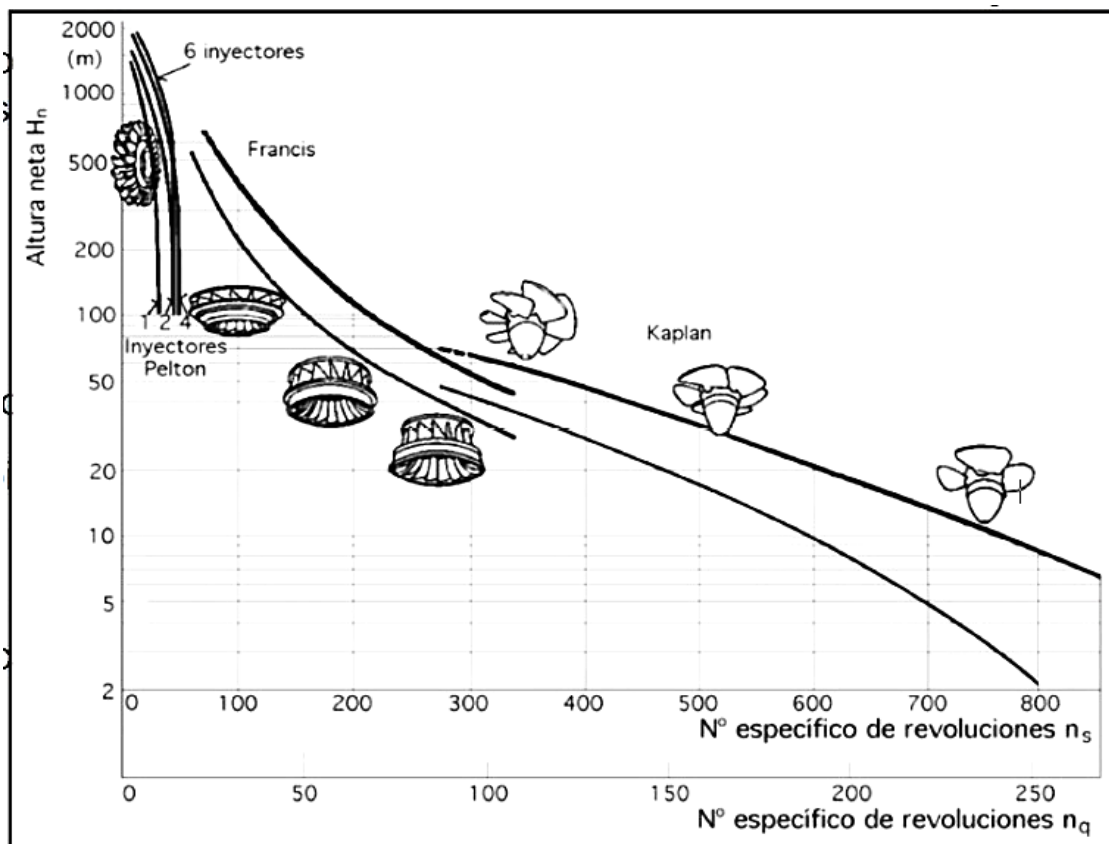


Figura 5.13 Rodete de la turbina según el número específico de revoluciones (Ns).  
Extraída de Dávila, C [16].



Observaciones y recomendaciones sobre el uso de las velocidades específicas para la selección de turbinas [16].

- ✓ La tabla anterior presenta los resultados en unidades del Sistema internacional. Este parámetro no es adimensional ni es una velocidad; por esta razón, algunos autores consideran que esa denominación es desafortunada y debería llamarse factor de forma, pues daría una mejor explicación de su naturaleza. Algunas referencias utilizan el nombre de números específicos en vez de velocidades específicas.
- ✓ En muchas publicaciones, las turbinas Pelton, son divididas según el número de inyectores (asignando un rango de  $N_s$  para uno, dos, tres, etc.).
- ✓ La mayoría de referencias fija límites inferiores de potencia, caudal y altura dentro de los cuales no encajan las picoturbinas. Esto se debe a que la tecnología de las picoturbinas es relativamente nueva. En este manual se recomienda utilizar indistintamente el rango de potencia válido para turbinas de fracción de kw.
- ✓ Las turbinas que se han utilizado con más frecuencia para aprovechamientos pequeños en comunidades aisladas son del tipo Pelton y de flujo transversal (Banki). En la actualidad se están utilizando con éxito también turbinas axiales de álabes fijos (hélice).
- ✓ Las bombas utilizadas como turbinas resultan una buena alternativa si se tiene un caudal seguro para todo el año o su variación es pequeña.
- ✓ El uso de sistemas de transmisión simple de poleas y fajas es común en centrales pequeñas, especialmente en potencias por debajo de los 100 a 150 kw. Para tamaños mayores se diseñan sistemas de acoplamiento directo o se utilizan engranajes como sistemas de transmisión.

### 5.8.2- Propuesta del hidrogenerador

De acuerdo a los resultados obtenidos del potencial hidráulico, en el cual intervienen con un gran contenido de aportación los distintos factores hidrológicos, como la caracterización hidrológica, curva hipsométrica, pendiente media del cauce, red de drenaje, determinación del caudal máximo y el aforo del río, que son la base fundamental para la evaluación, caracterización y determinación de la utilización de la energía hidráulica para la generación de electricidad, conjuntamente con la selección del salto hidráulico adecuado y la velocidad específica de giro de potencia ( $N_s$ ), que de acuerdo a las características de trabajo y eficiencia de cada una de los tipos de turbinas existentes, permite seleccionar estas de acuerdo a sus rangos de trabajo en la hidrogenación, se procede a proponer el tipo de hidrogenerador que se ajusta a las características reales del área de estudio, ya que todos los parámetros que intervienen en la obtención del potencial hidroenergético para su cálculo, fueron medidos en campo.

Propuesta del tipo de turbina para cada altura tomada			
Nombre	Altura	Tipo de turbina	Tipo rodete (fig.4.12)
Salto "El	$h_1 = 62$ m	Francis normal	0 - 100 $N_s$
Suspiro"	$h_2 = 66$ m	Francis normal	0 - 100 $N_s$
Salto "Ala	$h_1 = 71$ m	Francis normal	0 - 100 $N_s$
del Ángel	$h_2 = 80$ m	Francis normal	0 - 100 $N_s$

Tabla 5.11. Selección y propuesta del hidrogenerador.

### 5.9 Conclusiones del capítulo

Se pudo comprobar que a pesar de la variedad de criterios y metodologías para calcular el potencial hidráulico en una zona determinada, referida por varios autores, es necesario que cada estudio se analice y se hagan mediciones en campo, teniendo en cuenta muy particularmente su topografía y caudal para obtener estos

parámetros con la mejor calidad posible, sin embargo en este capítulo se mostraron estos resultados elaborados en el terreno, además se selecciona y propone el hidrogenerador que se ajusta al área de estudio, teniendo en cuenta criterios gráficos y tabulados en estudios realizados por diferentes autores .

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## Conclusiones

Se desarrolló una metodología ajustándola al área de estudio, la cual fue seleccionada la zona donde está ubicado el centro Ecoturístico “El Chiflons”, por ser donde predominan los saltos hidráulicos en todo el cauce del río “San Vicente” y el punto seleccionado como idóneo para la generación de electricidad a través de micro generación, teniendo en cuenta que era de fácil acceso y su topografía permitía a personas la maniobrabilidad para futuros proyectos para el aprovechamiento del potencial hidroenergetico, esta metodología abarcó el cumplimiento de los siguientes objetivos trazados :

1. La caracterización del área de estudio permitió:
  - ✓ La identificación de las estaciones climatológicas que inciden directamente en el área de la cuenca del río San Vicente, estas fueron: "Abelardo Rodríguez", Comitán de Domínguez, Chiapas. Latitud: 16.37" N Longitud: -92.23" W, "Tzimol (CFE)", Tzimol, Chiapas. Latitud: 16.19 N Longitud: -92.26 W, "Villa las Rosas", Las Rosas, Chiapas. Latitud: 16.36 N Longitud: -92.36 W y "Zapaluta", La Trinitaria, Chiapas. Latitud: 16.09 N Longitud: -92.03 W.
  - ✓ La selección de la Cascada el Suspiro con ubicación, latitud 16.193558° y longitud -92.268331°, con una cota de elevación aguas arriba de 745 metros sobre el nivel del mar y Ala del Ángel con ubicación, latitud 16.193702°y longitud -92.267409°, con una cota de elevación aguas arriba de 754 metros sobre el nivel del mar, como los puntos idóneos para realizar los estudios del potencial hidroenergetico en el río “San Vicente”.
  - ✓ La selección del área de evaluación del potencial hidráulico, por el cual se obtuvo el desnivel de referencia con respecto a los dos saltos hidráulicos mencionados anteriormente con ubicación en latitud 16.191641° y longitud -92.273250°, con cota de elevación de 683 metros sobre el nivel del mar.

2. Mediante el Aforo del Rio San Vicente se determinó:
- ✓ El cálculo de avenidas probables en 2, 4, 6, 8 y 12 años de retorno, con gastos correspondientes a 66.31, 70.9, 73.29, 74.92 y 77.16 m<sup>3</sup>/s respectivamente, para la protección de la instalación hidrogeneradora de futuros proyectos en la zona de trabajo, para lo cual se utilizó el método probabilístico e indirecto de GUMBELL.
  - ✓ El caudal medio de diseño, a través del método directo de aforo por vadeo en época de estiaje, el cual fue de 3.66 m<sup>3</sup>/s; dicho caudal es el utilizado en la generación de electricidad a través de hidroturbinas
3. La selección de los dos salto hidráulico escogidos: El Suspiro y el Ala del Ángel para la determinación del potencial hidráulico de dicha cuenca, permitió
- ✓ La obtención de las alturas correspondientes para determinar el potencial hidráulico en ambos casos. h1 es la altura teniendo en cuenta la diferencia de elevación terrestre y h2 es la altura teniendo en cuenta el inicio y final de un trazado de posible tubería en el terreno. En el Suspiro los valores de h1= 62m, h2= 66m y en el Ala del Ángel las alturas fueron, h1=71m, h2= 80 m. La altura h2 en cada caso se realizó teniendo en cuenta un trazado de un perfil de colocación de tubería real, con el objetivo de facilitar la ubicación de la obra de captación y generación.
  - ✓ La determinación del punto idóneo para evaluar el potencial hidráulico en ambos saltos hidráulicos, ubicado en la latitud 16.191641° y longitud - 92.273250°, con cota de elevación de 683 metros sobre el nivel del mar.

- ✓ El cálculo del potencial hidroenergetico, de cada salto hidráulico seleccionado en el Rio San Vicente acorde al caudal circundante. El cual se muestra en la siguiente tabla

Tabla 6.1 Interpretación de los Resultados

Interpretación de resultados				
Parámetros	Salto Hidráulico(El Suspiro)		Salto Hidráulico (Ala del Ángel)	
Altura (m)	h1= 62	h2= 66	h1= 71	h2= 80
Potencia Instalada de Microgeneración(Kw)	2226	2370	2549	2872
Generación (Kw h/Año)	19233376	20474239	22025318	24817260

4. Se propuso un hidrogenerador teniendo en cuenta el cálculo de la velocidad específica de giro de potencia (Ns), para cada salto hidráulico con sus respectivas alturas como se mostró en la tabla 4.9. Finalmente según estos resultados la propuesta final recayó en un hidrogenerador del tipo Turbina Francis Normal. Esta turbina se ajusta a los resultados del potencial hidroenergetico del área de estudio perteneciente al Rio San Vicente y su rango de trabajo está entre 0 a 100 Ns.

Los resultados obtenidos dieron cumplimiento a los objetivos propuestos. Los potenciales hidráulicos que se obtuvieron, son de gran utilidad para cualquier proyecto de micro generación que se desee realizar en esta área para el beneficio de la comunidad rural aledaña.

Es importante mencionar que si bien es cierto que el mayor potencial hidráulico del rio "San Vicente" está presente en la región del centro ecoturístico "El Chiflons",

pero no todo este potencial puede aprovecharse, ya que hay lugares en los que el acceso se vuelve muy difícil y por ende su aprovechamiento también.

### **Recomendaciones**

De acuerdo las experiencias obtenidas en el transcurso de este trabajo y las particularidades que se requirieron en las diferentes etapas para determinar el potencial hidráulico en el Rio San Vicente se recomienda:

- ✓ Determinar el caudal medio del rio a través de aforos, para lo cual es necesario hacer la mayor cantidad de estos en épocas de estiaje, para tener un mayor ajuste en las mediciones.
- ✓ Considerar los resultados de este trabajo como base para la realización de estudios del potencial hidráulico para pequeños proyectos hidroeléctricos en el Estado de Chiapas.
- ✓ Para desarrollar proyectos de microgeración en otras áreas del estado de Chiapas con características similares, tener en cuenta, anexo 1 y anexo 2.



## **BIBLIOGRAFÍA**

**[1].**Aparicio Mijares, Francisco Javier. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Primera Reimpresión .Mexico. Editorial Limusa .S.A de C.V.1992.

**[2].**Aquino Ocaña, Jesús Alejandro. Cancino Conde Gabriela Jaqueline. Tesis "Determinación Del Coeficiente De Escurrimiento Para Clima Tropical, Caso Cuenca La Angostura, UNACH 2014

**[3].**Arzate Esther .Sistema hidroeléctrico Nexaca en agonía. Centro de Información y Documentación "Mtro. Jesús Silva-Herzog" del Instituto de Investigaciones Económicas UNAM. Mexico.2010. [http://biblioteca.iiec.unam.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=11462&Itemid=146](http://biblioteca.iiec.unam.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=11462&Itemid=146).

**[4].**Barrero F, Antonio. El 70% del potencial hidroeléctrico mundial continúa a la espera de ser explotado. Energías Renovables. Minihidráulica. 2012. <http://www.energias-renovables.com/articulo/el-70-del-potencial-hidroelectrico-mundial-continua-20120912>.

**[5].**Blanco Guillén, Erick Alexander. Estimación de la potencia eléctrica teórica disponible en el Río Copinula, Jujutla, Ahuachapán. ING-NOVACIÓN. No. 4.2012. <http://rd.udb.edu.sv:8080/jspui/bitstream/123456789/1202/1/2-estimacion-de-la-potencia-electrica-teorica-disponible-en-rio-copinula-jujutla-ahuachapan.pdf> .

**[6].**Blanco Silva, Fernando. La Energía Hidroeléctrica. Centro Virtual de Información del agua 2003. <http://www.agua.org.mx/>.

**[7].**Breña Puyol Agustín Felipe, Jacobo Villa Marco Antonio. Principios Fundamentos de la Hidrología Superficial. Casa Abierta al Tiempo. México. Universidad Autónoma Metropolitana 2006. (CONGRESO).

[8].Cabrera Gabriela. Energía Hidráulica. Tecnología Industrial.2013. [http://iesvillalbaher.vastecnologia.files.wordpress.com/2013/11/04\\_0\\_fuentes-de-energ3ada-energia-hidrc3a1ulica.pdf](http://iesvillalbaher.vastecnologia.files.wordpress.com/2013/11/04_0_fuentes-de-energ3ada-energia-hidrc3a1ulica.pdf).

[9].Campos Aragón Leticia. La electricidad en la Ciudad de México y área conurbada. Editorial siglo XXI editores, S.A de C. V. Primera edición, 2005.

[10].Castro Soto, Gustavo. Chiapas y los Nuevos Proyectos Hidroeléctricos .Amenazan a los pueblos y al cambio climático. ECO PORTAL.NET. 2010. [http://www.ecoportel.net/.Temas\\_Especiales/Energias/chiapas\\_y\\_los\\_nuevos\\_proyectos\\_hidroelectricos\\_amenaza\\_a\\_los\\_pueblos\\_y\\_al\\_cambio\\_climatico](http://www.ecoportel.net/.Temas_Especiales/Energias/chiapas_y_los_nuevos_proyectos_hidroelectricos_amenaza_a_los_pueblos_y_al_cambio_climatico).

[11].Castro Soto, Gustavo. Las Represas Sobre El Rio Usumacinta En Chiapas. Otros Mundos. AC. 2010. <http://otrosmundoschiapas.org/analisis/represas%20sobre%20el%20riO%20usumacinta.pdf>.

[12].CFE, Análisis de Avenidas para Estimar los Volúmenes Aportados al Vaso Angostura. División Hidrométrica del Suroeste, Tuxtla Gutierrez, Chiapa.1997.

[13]. El Economista. Sube el precio de los combustibles.2014. <http://www.eleconomista.es/>.

[14].CONAPO. Estimaciones de en base en el II Censo de Población y Vivienda 2005.[http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices\\_margina/margina2005/IM2005\\_principal.pdf](http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices_margina/margina2005/IM2005_principal.pdf).

[15].Coruña A. Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. EFCA, S.A. Parque Industrial" LasMonjas" Madrid, España.1998. <http://books.google.com.mx/books?id=RLpIFYa1hYC&pg=PA222&dq=historia+de+>

la+energia+hidraulica&hl=es&sa=X&ei=ekSs3UL1O5eWqAbrpIKABg&ved=0CBsQ6AEwAA#v=onepage&q=historia%20de%20la%20energia%20hidraulica&f=false.

**[16].**Dávila, C.; Vilar, D.; Villanueva, G.; Quiroz, L. Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas. Lima: Soluciones Prácticas, 2010. ISBN: 978-9972-47-210-5.

**[17].**Federación Andalucía de Municipios y Provincias, ANEXO N° 5 Implantación Del Régimen De Caudales Ecológicos, diciembre 2010: <http://www.famp.es/famp/intranet/documentos/PH/PH%20GUADALQUIVIR/Anejos/nejos%205%20Caudales%20Ecologicos/Anejo%205%20%20IMPLANTACION%20REGIMEN%20CAUDALES%20ECOLOGICOS.pdf> .

**[18].**F. Manzini, and M. Martinez, "Cost-benefit analysis of energy scenarios for the Mexican power sector," Energy 28 (2002): 979-992. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/03605442/28/10>.

**[19].**Gardea Villega, Humberto. Aprovechamiento hidroeléctrico y de Bombeo. Editorial. Trillas. Primera Edición. 1992.

**[20].**Giraldo Ospina, Luis Fernando. Centrales Hidroeléctricas.Scribd.2013. <http://es.Scribd.com/doc/140070271/Pequeñas-Centrales-Hidroelectricas>.

**[21].**Guerra Abud Juan José. Minihidroelectricas, potencial desaprovechado. Organización Editorial Mexicana. México 2010. <http://www.oem.commx/elsoldemexico/notas/n17146993.htm>.

**[22].** Guerrero, Blanca Isabel. Secuencias. Tipos de Energía. 2013. <http://cienciasecu.blogspot.mx/search/label/Tipos%20de%20energ%C3%ADa%3A%20hidr%C3%A1ulica>.

**[23].** González Julio .El potencial hidroeléctrico de América Latina .Artículo Fieras de la Ingeniería. Enero 2012. <http://www.fierasdelaingenieria.com/el-potencial-hidroelectrico-de-america-latina/>.

**[24].** González Velasco Jaime .Energías Renovables. España .Editorial Reverté. S.A. 2009.

**[25].** Guía metodológica para el establecimiento de microcentrales hidroeléctricas en áreas rurales / Proyecto “Promoviendo el Manejo Integrado de Ecosistemas y de Recursos Naturales en Honduras” (Proyecto Ecosistemas).-- [Tegucigalpa]: [Hondupress Litografía], [2009], ISB: 978-99926-762-3-3(CONGRESO).

**[26].** INEGI. Consulta de Población y Vivienda 2010. [http://www.inegi.org.mx/est/lista\\_cubos/consulta.aspx?p=pob&c=1](http://www.inegi.org.mx/est/lista_cubos/consulta.aspx?p=pob&c=1).

**[27].** INEGI-Gobierno del Estado de Chiapas. Anuario Estadístico de Chiapas, ediciones 2001 y 2002. Aguascalientes, Aguascalientes 2002

**[28].** León González, Andrei y Quintana Sánchez, Gabriela. Tesis: “Propuesta de Aprovechamiento Sustentable del Recurso Hídrico, Municipio Juan Antonio Sotillo, Estado Anzoátegui. Caracas, 2008. [http://www.lmmeteoven.org/archivos/tesis\\_gabriela.pdf](http://www.lmmeteoven.org/archivos/tesis_gabriela.pdf).

**[29].** R. Brow Lester. Situación del Mundo .Barcelona- España. ICARIA editorial S.A .1998.

**[30].**Mujal Rosas Ramón M. Tecnología eléctrica. Cataluña, España. Edición UPC, 2000.

**[31].**Murillo Díaz José Manuel. Desarrollo Sostenible Uso Conjunto y Gestión Integral de Recursos Hídricos. Instituto Geológico y Minero de España. España 2010.

**[32].**Ortega Méndez María Teresa. Energía hidráulica en México y el Mundo. México. Geotermia 2013. <http://132.248.9.34/hevila/Geotermia/2013/vol26/no1/10.pdf>.

**[33].**Paul A. Tipler. Física para la ciencia y tecnología. Editorial Reverté 6ta edición. México, 2010.

**[34].**Pérez Pantoja, Piero. Grupo de generación Kaplan tubular para 3.0 Kw de capacidad. Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.2011.[https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=0CE0QFjAJahUKEwiYqKy0keDGAhVJpIKHVHlDtE&url=http%3A%2F%2Ftesis.pucp.edu.pe%2Frepositorio%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F385%2FPEREZ\\_PIERO\\_GRUPO\\_GENERACION\\_KAPLAN\\_TUBULAR.pdf%3Fsequence%3D2&ei=guSnVZjfKcmcygTRkLuIDQ&usg=AFQjCNHNzprU7IxmYHW8sogzfl3yNJBzdA&sig2=PqE5Bd6JpXvLP2j0hh\\_YA](https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=0CE0QFjAJahUKEwiYqKy0keDGAhVJpIKHVHlDtE&url=http%3A%2F%2Ftesis.pucp.edu.pe%2Frepositorio%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F385%2FPEREZ_PIERO_GRUPO_GENERACION_KAPLAN_TUBULAR.pdf%3Fsequence%3D2&ei=guSnVZjfKcmcygTRkLuIDQ&usg=AFQjCNHNzprU7IxmYHW8sogzfl3yNJBzdA&sig2=PqE5Bd6JpXvLP2j0hh_YA).

**[35].**Raymond A. Serway-Jerry S. Faughn. Fundamentos de física. Editorial Thompson. 2010.

**[36].**Ray K.Linsley & Joseph B. Franzini. Editora da Universidade de Sao Paulo e Editora McGraw-Hill do Brasil, Ltda. 1978.

**[37].**Rodríguez Álvarez, Juan Manuel. “La energía Renovable en CFE Elemento Fundamental para un Desarrollo Sustentable. Febrero 2010. /Noticias/2010/Foro\_CFE/Ponencias/22\_Febrero\_2010\_Energía\_Eolica\_y\_Geotermica\_CI/100222\_I\_ENERGIAS\_RENOVABLES\_EN\_CFE\_Juan\_Manuel\_Rodriguez\_Alvarez.pdf

**[38].**Sánchez Mosquete Jorge .La 10 Centrales Hidroeléctricas más Grandes del Mundo. MOS INGENIEROS 2013. <http://www.mosingenieros.com/2014/01/las-10centrales-hidroelectricas-mas.html>.

**[39].**Sanz Osorio José Francisco. Energía Hidroeléctrica. Editorial, Prensas Universitaria de Zaragoza, España .Primera edición 2008.

**[40].**Secretaria de Energia. Estrategia Nacional de Energía 2013 -2027.2013. [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2013/ENE\\_2013-2027.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/ENE_2013-2027.pdf).

**[41].**SEGOB. Diario Oficial de la Federación. TOMO DCCIX No.20 Mexico, DF, 26 octubre de 2012. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ley de aguas Nacionales. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/leyes.php>.

**[42].**Shames H Irvmg, Mecánica de los Fluidos ,3ra Edición 1995.

**[43].**Shanker Anjali. The Potential Of Small Hydro For Rural Electrification. Alliance for Rural Electrification. 2014 [http://www.ruralelec.org/fileadmin/DATA/Documents/06\\_Publications/Position\\_papers/ARE\\_Small\\_Hydropower\\_Position\\_Paper\\_2014.pdf](http://www.ruralelec.org/fileadmin/DATA/Documents/06_Publications/Position_papers/ARE_Small_Hydropower_Position_Paper_2014.pdf).

**[44].**Secretaria de Recursos Hidráulicos. Secretaria de Planeación. Dirección. General de Estudios .Dirección de Hidrología. Boletín Hidrológico #30 B. Tomo I .IPESA.1969.

[45].SNER. PDF. Prospectiva del Sector Eléctrico 2013 -2027. México 2013. División Hidrométrica del Suroeste. Tuxtla, Gutierrez, Chiapas.

[46].SENR. PDF, Potencial Tecnología Minihidráulica. México 2010. <http://www.renovables.gob.mx/Portal/Default.aspx?id=1651&lang=1>

[47].SISC, A.C.ILUMEXICO, PRENDE LA LUZ DE MÉXICO. MEXICO. 2013. <http://www.ilumexico.mx/usuarios-ilumexico/>.

[48].Solano, Juan. Central Hidroeléctrica.2013. <http://centralhidroelectricainformacionbl ogspot.mx/>.

[49].Solís German. Resumen de las fuentes de energía más usadas.1997. <http://www.dianet.com.ar/dianet/users/Solis/Home.htm#HOME>.

[50].Valderrama, José O. Información Tecnológica. Edición: Centro de Información Tecnológica. Chile 2000.

[51].Viglione María. Energía Hidroeléctrica, Potencial y Barrera. Revista ADN agua y medioambiente. Argentina 2011. [http://www.revistaadn.com/website/index.php?option=com\\_content&view=article&id=208:potencial-y-barreras&catid=36:noticiastercias](http://www.revistaadn.com/website/index.php?option=com_content&view=article&id=208:potencial-y-barreras&catid=36:noticiastercias).

[52]-Villafuerte Solís Daniel. Geoeconomía y geopolítica en el área Plan Puebla-Panamá . México .Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social . 2006 .



## **ANEXOS**

## Anexo 1. Registros de las estaciones pluviométricas que inciden en el área de estudio (Conagua).

Leyenda: prcpt: precipitación, máx: máxima

Estaciones											
Zapaluta			Abelardo Rodríguez			Villa las Rosas			Tzimol(cfe)		
año	meses máx. prcpt	datos prcpt (mm)	año	meses máx. prcpt	datos prcpt (mm)	año	meses máx. prcpt	datos prcpt (mm)	año	meses máx. prcpt	datos prcpt (mm)
1975	may	283	1980	may	246.6	1980	nov	31.2	1961	oct	131.2
1976	ago	224	1981	ago	206.6	1981	juil	592.9	1962	sept	212.7
1977	may	292.5	1982	may	246.8	1982	sept	329.1	1963	jul	253.6
1978	sept	218	1983	sept	304.3	1983	jun	266.4	1964	jul	244.3
1979	may	259	1984	may	336.5	1984	sept	700.5	1965	jun	323.2
1980	jun	217	1985	jun	249.7	1985	jun	354.4	1966	sept	261
1981	may	433	1986	may	316.4	1986	may	214.7	1967	jun	229.5
1982	jun	303.5	1987	jun	288.8	1987	sept	260.6	1968	sept	224.5
1983	jun	261	1988	jun	237.2	1988	jun	450.8	1969	ago	354.5
1984	jun	359	1989	jun	365.6	1989	sept	342.2	1970	sept	298.6
1987	jul	149.5	1990	jul	150.1	1990	ago	213.8	1971	sept	203.1
1988	sept	298	1991	sept	186.4	1991	jun	378.5	1972	jun	355.6
1989	jun	283.5	1992	jun	208.4	1992	jun	294.8	1973	ago	354.4
1990	jun	118.5	1993	jun	312.6	1993	oct	116	1974	sept	280.2
1991	ago	301	1994	ago	224	1994	jun	206	1975	oct	221.7
1992	ago	176	1995	ago	342.5	1995	ago	550.4	1976	jun	272.2
1993	ago	300.1	1996	ago	159.5	1996	jun	371.2	1977	may	249.9
1994	sept	166	1997	sept	274.5	1997	sept	283.4	1978	sept	230.6
1995	sept	352	1998	sept	277	1998	jun	191.5	1979	sept	261.4
1996	sept	337	1999	sept	392	1999	sept	460.6	1980	sept	214.5
1997	may	170.5	2000	may	285.5	2000	sept	445	1981	jun	311.1
1998	sept	208	2001	sept	209	2001	sept	399.1	1982	may	288.7

**Anexo 2. Aforos  
vadeados, estación  
Tzimol caídas, 1964-1966  
[43].**

<b>Estacion Tzimol Caidas (cfe)</b>				
	<b>Gastos</b>		<b>Gastos</b>	
	<b>1964</b>	<b>máximos</b>	<b>mínimos</b>	<b>Gastos medios</b>
enero		1.92	1.39	1.72
febrero		1.62	1.10	1.44
marzo		1.48	1.01	1.20
abril		1.20	0.860	1.04
mayo		2.41	0.930	1.18
junio		9.81	0.920	1.86
julio		12.1	1.23	3.05
agosto		3.15	1.33	2.00
septiembre		10.1	1.44	4.9
octubre		19.6	3.60	5.95
noviembre		3.75	2.02	2.95
diciembre		2.27	1.52	1.93
anual		19.6	0.86	2.44
<b>1965</b>				
enero		1.77	1.15	1.42
febrero		1.4	0.960	1.21
marzo		1.28	0.870	1.06
abril		1.06	0.790	0.960
mayo		1.39	0.710	1.01
junio		4.21	0.900	1.79
julio		2.56	1.100	1.67
agosto		1.45	0.560	0.970
septiembre		28.1	0.790	2.89
octubre		19.2	4.22	6.82
noviembre		4.95	2.54	3.61
diciembre		2.71	1.580	2.15
anual		28.1	0.560	2.13
<b>1966</b>				
enero		1.64	1.25	1.48
febrero		1.48	1.05	1.26
marzo		1.41	0.990	1.12
abril		1.73	0.990	1.15
mayo		1.48	0.870	1.03
junio		29.7	0.990	3.24
julio		22.1	3.31	5.32
agosto		10.4	2.62	3.84
septiembre		9.46	2.23	3.18
octubre		19.7	3.94	5.61
noviembre		5.78	2.74	3.28
diciembre		2.74	1.87	2.26
anual		29.7	0.870	2.73

### Anexo 3 Tabla para determinar la velocidad media en función del número de vueltas que registra el molinete en función del tiempo.



**INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA**  
 LABORATORIO DE HIDRAULICA "ENZO LEVI"  
 SERVICIO DE CARACTERIZACION DE MOLINETES

Paseo Cuauhnahuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos  
 CP 62550 Tel/Fax: 01 (777) 3 29 36 79, Email: molinetes@tlaloc.imta.mx



Fecha:  
2011/03/23

Número de Serie:  
3017

Ecuación  $V = m \cdot N + b$   
 m (m/rev.)  
0.7306  
 b:  
0.0095

Tabla de Velocidades  
 V = metros/segundo  
 T = segundos  
 N = Revoluciones por segundo  
 R = Número de Revoluciones

Número de reporte:  
8904

Clave de Molinete:  
VLF-MEX-P-8904

T/R	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	150	200	250
40	0.019	0.037	0.055	0.074	0.092	0.183	0.274	0.366	0.457	0.548	0.640	0.731	0.822	0.914	1.098	1.279	1.462	1.644	1.827	2.740	3.654	4.567
41	0.018	0.036	0.054	0.072	0.090	0.179	0.268	0.357	0.446	0.535	0.624	0.713	0.802	0.891	1.070	1.248	1.426	1.604	1.782	2.673	3.564	4.455
42	0.018	0.035	0.053	0.070	0.087	0.174	0.261	0.348	0.435	0.522	0.609	0.696	0.783	0.870	1.044	1.218	1.392	1.566	1.740	2.610	3.480	4.349
43	0.017	0.034	0.051	0.068	0.085	0.170	0.255	0.340	0.425	0.510	0.595	0.680	0.765	0.850	1.020	1.190	1.360	1.530	1.700	2.548	3.396	4.246
44	0.017	0.034	0.050	0.067	0.083	0.167	0.250	0.333	0.416	0.499	0.582	0.665	0.748	0.831	0.997	1.163	1.329	1.495	1.661	2.491	3.321	4.152
45	0.017	0.033	0.049	0.065	0.082	0.163	0.244	0.325	0.406	0.488	0.569	0.650	0.731	0.812	0.975	1.137	1.299	1.462	1.624	2.438	3.248	4.059
46	0.016	0.032	0.048	0.064	0.080	0.159	0.239	0.318	0.398	0.477	0.556	0.636	0.715	0.795	0.953	1.112	1.271	1.430	1.589	2.383	3.177	3.971
47	0.016	0.032	0.047	0.063	0.078	0.156	0.234	0.311	0.389	0.467	0.545	0.622	0.700	0.778	0.933	1.088	1.244	1.400	1.555	2.332	3.100	3.887
48	0.016	0.031	0.046	0.061	0.077	0.153	0.229	0.305	0.381	0.457	0.533	0.609	0.685	0.762	0.914	1.066	1.218	1.370	1.523	2.284	3.045	3.806
49	0.015	0.030	0.045	0.060	0.075	0.150	0.224	0.298	0.373	0.448	0.522	0.597	0.671	0.746	0.895	1.044	1.193	1.342	1.492	2.237	2.983	3.728
50	0.015	0.030	0.044	0.059	0.074	0.147	0.220	0.293	0.366	0.439	0.512	0.585	0.658	0.731	0.877	1.023	1.169	1.316	1.462	2.192	2.923	3.654
51	0.015	0.029	0.043	0.058	0.072	0.144	0.215	0.287	0.359	0.430	0.502	0.573	0.645	0.717	0.860	1.003	1.147	1.290	1.433	2.149	2.866	3.582
52	0.015	0.028	0.042	0.057	0.071	0.141	0.211	0.281	0.352	0.422	0.492	0.562	0.633	0.703	0.843	0.984	1.124	1.265	1.405	2.108	2.811	3.513
53	0.014	0.028	0.041	0.056	0.069	0.138	0.207	0.276	0.345	0.414	0.483	0.552	0.621	0.690	0.828	0.965	1.103	1.241	1.379	2.058	2.758	3.447
54	0.014	0.028	0.041	0.055	0.068	0.136	0.203	0.271	0.339	0.406	0.474	0.542	0.609	0.677	0.812	0.948	1.083	1.218	1.353	2.030	2.706	3.383
55	0.014	0.027	0.040	0.054	0.067	0.133	0.200	0.268	0.333	0.399	0.465	0.532	0.598	0.665	0.798	0.930	1.063	1.196	1.329	1.993	2.657	3.321
56	0.014	0.027	0.040	0.053	0.066	0.131	0.198	0.261	0.327	0.392	0.457	0.522	0.588	0.653	0.783	0.914	1.044	1.175	1.305	1.957	2.610	3.262
57	0.013	0.026	0.039	0.052	0.065	0.129	0.193	0.257	0.321	0.385	0.449	0.513	0.577	0.641	0.770	0.898	1.026	1.154	1.282	1.923	2.564	3.205
58	0.013	0.026	0.038	0.051	0.063	0.126	0.189	0.252	0.315	0.378	0.441	0.504	0.567	0.630	0.758	0.882	1.008	1.134	1.260	1.890	2.520	3.150
59	0.013	0.025	0.038	0.050	0.062	0.124	0.186	0.248	0.310	0.372	0.434	0.496	0.558	0.620	0.743	0.867	0.991	1.115	1.239	1.858	2.477	3.096
60	0.013	0.025	0.037	0.049	0.061	0.122	0.183	0.244	0.305	0.366	0.427	0.488	0.548	0.609	0.731	0.853	0.975	1.096	1.218	1.827	2.436	3.045
61	0.012	0.024	0.036	0.048	0.060	0.120	0.180	0.240	0.300	0.360	0.420	0.480	0.539	0.599	0.719	0.839	0.959	1.078	1.198	1.797	2.396	2.996
62	0.012	0.024	0.036	0.048	0.059	0.118	0.177	0.236	0.295	0.354	0.413	0.472	0.531	0.590	0.708	0.825	0.943	1.061	1.179	1.768	2.357	2.947
63	0.012	0.024	0.035	0.047	0.058	0.116	0.174	0.232	0.290	0.348	0.406	0.464	0.522	0.580	0.696	0.812	0.928	1.044	1.160	1.740	2.320	2.900
64	0.012	0.023	0.035	0.046	0.058	0.115	0.172	0.229	0.286	0.343	0.400	0.457	0.514	0.571	0.685	0.800	0.914	1.028	1.142	1.713	2.284	2.854
65	0.012	0.023	0.034	0.045	0.057	0.113	0.169	0.225	0.281	0.338	0.394	0.450	0.506	0.562	0.675	0.787	0.900	1.012	1.124	1.687	2.249	2.811
66	0.012	0.023	0.034	0.045	0.056	0.111	0.167	0.222	0.277	0.333	0.388	0.443	0.499	0.554	0.665	0.775	0.885	0.997	1.107	1.661	2.214	2.768
67	0.011	0.022	0.033	0.044	0.055	0.110	0.164	0.219	0.273	0.328	0.382	0.437	0.491	0.546	0.655	0.764	0.873	0.982	1.091	1.635	2.181	2.727
68	0.011	0.022	0.033	0.043	0.054	0.108	0.162	0.215	0.269	0.323	0.377	0.430	0.484	0.538	0.645	0.753	0.860	0.967	1.075	1.612	2.149	2.697
69	0.011	0.022	0.032	0.043	0.053	0.105	0.159	0.212	0.265	0.318	0.371	0.424	0.477	0.530	0.638	0.742	0.849	0.953	1.059	1.589	2.118	2.648
70	0.011	0.021	0.032	0.042	0.053	0.105	0.157	0.209	0.261	0.314	0.366	0.418	0.470	0.522	0.627	0.731	0.833	0.940	1.044	1.566	2.083	2.610

Responsable: Javier Martínez (Esp. en Hca.)

#### Anexo 4. Aforos realizados en la sección 1.

Leyenda: Secc-sección, Dist-distancia, orig-origen, Prof-profundidad, obsr-observación, Met- método, Rev-revoluciones, Tiemp-tiempo, v-velocidad, supf-superficial.

6/5/15 I- 5:17 pm T-6:30 pm Seccion-1 8/5/15 I-7:58 am T-9:10. am											
Secc	Dist desde orig(m)	Prof (m)	Met	Prof obsr (m)	Rev	Tiemp (s)	v (m/s)	Rev	Tiemp (s)	v (m/s)	
1	1.36	0.14		supf							
2	2.36	0.08		supf							
3	3.36	0.06		supf							
4	4.36	0.12		supf							
5	5.36	0.16		supf							
6	6.36	0.34	0.4	0.136		209.5					
7	7.36	0.26		0.26		45.4			39.4		
8	8.36	0.34	0.4	0.136	40	49.6	0.585	60	59.1	0.743	
9	9.36	0.34	0.4	0.136	40	51	0.573	60	59.85	0.731	
10	10.36	0.31	0.4	0.124	20	60.6	0.24	40	57.7	0.504	
11	11.36	0.43	0.4	0.172	40	44.6	0.65	40	47.9	0.609	
12	12.36	0.4	0.4	0.16	40	43	0.68	40	46.6	0.622	
13	13.36	0.49	0.4	0.196	40	47.4	0.622	40	43.2	0.68	
14	13.86	0.74	0.4	0.296	40	60.8	0.48	40	62.2	0.472	
15	14.36	0.76	0.4	0.304	40	68.8	0.424	40	69.4	0.424	
16	14.86	0.81	0.4	0.324	40	61.5	0.472	40	60.8	0.48	
17	15.36	0.85	0.4	0.34	40	57.4	0.513	40	54.4	0.542	
18	15.86	0.86	0.4	0.344	40	61	0.48	40	57.2	0.513	
19	16.36	0.91	0.4	0.364	40	57.2	0.513	40	52	0.562	
20	16.86	0.71	0.4	0.284	40	64	0.457	40	67.9	0.43	
21	17.36	0.74	0.4	0.296	40	69	0.424	40	69.8	0.418	
22	17.86	0.44	0.4	0.176	35	63.4	0.406	35	65.4	0.394	
23	18.36									8.124	
						Suma	7.519				0.542
				Velocidad media de la sección		0.5013					

**Anexo 5. Aforos realizados en la sección 1.**

7/5/15 I- 5:10 pm T-6:30 pm Seccion-1 8/5/15 I-7:58 am T-9:10. am										
Secc	Dist desde orig(m)	Prof (m)	Met	Prof obsr (m)	Rev	Tiemp (s)	v (m/s)	Rev	Tiemp (s)	v (m/s)
1	1.36	0.14		supf.						
2	2.36	0.08		supf.						
3	3.36	0.06		supf.						
4	4.36	0.12		supf.						
5	5.36	0.16		supf.						
6	6.36	0.34	0.4	0.136		209.5				
7	7.36	0.26		0.26		45.4			39.4	
8	8.36	0.34	0.4	0.136	40	49.6	0.585	60	59.1	0.743
9	9.36	0.34	0.4	0.136	40	51	0.573	60	59.85	0.731
10	10.36	0.31	0.4	0.124	20	60.6	0.24	40	57.7	0.504
11	11.36	0.43	0.4	0.172	40	44.6	0.65	40	47.9	0.609
12	12.36	0.4	0.4	0.16	40	43	0.68	40	46.6	0.622
13	13.36	0.49	0.4	0.196	40	47.4	0.622	40	43.2	0.68
14	13.86	0.74	0.4	0.296	40	60.8	0.48	40	62.2	0.472
15	14.36	0.76	0.4	0.304	40	68.8	0.424	40	69.4	0.424
16	14.86	0.81	0.4	0.324	40	61.5	0.472	40	60.8	0.480
17	15.36	0.85	0.4	0.34	40	57.4	0.513	40	54.4	0.542
18	15.86	0.86	0.4	0.344	40	61	0.48	40	57.2	0.513
19	16.36	0.91	0.4	0.364	40	57.2	0.513	40	52	0.562
20	16.86	0.71	0.4	0.284	40	64	0.457	40	67.9	0.43
21	17.36	0.74	0.4	0.296	40	69	0.424	40	69.8	0.418
22	17.86	0.44	0.4	0.176	35	63.4	0.406	35	65.4	0.394
23	18.36									
						Suma	7.519			8.124
				Velocidad media de la Sección			0.5013			0.542

**Anexo 6. Aforos realizados en la sección 2.**

6/5/15 I- 4:03 pm T-4:55 pm SECCION-2 7/5/15 I-10:20 am T-11:25. am										
Secc	Dist desde orig(m)	Prof (m)	Met	Prof obsr (m)	Rev	Tiemp (S)	v (m/s)	Rev	Tiemp (s)	v (m/s)
1	0.76	0.05								
2	1.76	0.1								
3	2.76	0.55	0.4	0.22	35	66.9	0.382	35	67.4	0.382
4	3.76	0.5	0.4	0.2	60	48.9	0.895	60	48.75	0.895
5	4.26	0.54	0.4	0.216	40	46.3	0.636	60	51.6	0.843
6	4.76	0.56	0.4	0.224	60	47.55	0.914	60	45.15	0.975
7	5.26	0.57	0.4	0.228	40	48.1	0.609	40	43.9	0.665
8	5.76	0.57	0.4	0.228	40	53.9	0.542	40	54	0.542
9	6.26	0.57	0.4	0.228	35	67.7	0.377	60	52.65	0.828
10	6.76	0.64	0.4	0.256	40	49.7	0.585	40	46.8	0.622
11	7.26	0.64	0.4	0.256	70	41.47	1.248	70	47.77	1.066
12	7.76	0.64	0.4	0.256	60	57.75	0.756	60	54.45	0.812
13	8.26	0.64	0.4	0.256	40	43.3	0.680	40	41.9	0.696
14	8.76	0.5	0.4	0.2	40	42.4	0.696	40	48.6	0.597
15	9.26	0.45	0.4	0.18	25	59.2	0.31	25	64.6	0.281
16	10.26	0.23	0.4	0.092	40	52.9	0.552	40	45.9	0.636
17	11.26	0.2	0.4	0.08	15	56.1	0.196	20	65.3	0.225
18	12.26							15	65.7	0.167
19	12.76									
						Suma	9.378			10.23
				Velocidad media de la sección			0.6252			0.64

**Anexo 7. Aforos realizados en la sección 2.**

7/5/15 I- 4:20 pm T-5:00 pm SECCION-2 8/5/15 I-9:27 am T-10:31. am										
Secc	Dist desde orig(m)	Prof (m)	Met	Prof obsr (m)	Rev	Tiemp (S)	v (m/s)	Rev	Tiemp (s)	v (m/s)
1	0.76	0.05								
2	1.76	0.1						40	60	0.488
3	2.76	0.55	0.4	0.22	30	66.3	0.333	40	57.8	0.504
4	3.76	0.5	0.4	0.2	60	49.65	0.877	60	46.05	0.953
5	4.26	0.54	0.4	0.216	60	49.35	0.895	60	49.65	0.877
6	4.76	0.56	0.4	0.224	40	45.1	0.65	60	46.95	0.933
7	5.26	0.57	0.4	0.228	40	46.2	0.636	40	46.2	0.636
8	5.76	0.57	0.4	0.228	40	49.6	0.585	40	53.3	0.552
9	6.26	0.57	0.4	0.228	40	53.5	0.542	40	42.9	0.680
10	6.76	0.64	0.4	0.256	40	44.5	0.65	40	52.8	0.552
11	7.26	0.64	0.4	0.256	60	47.1	0.933	60	44.55	0.975
12	7.76	0.64	0.4	0.256	40	45.8	0.636	40	43.9	0.665
13	8.26	0.64	0.4	0.256	60	56.7	0.77	40	42.2	0.696
14	8.76	0.5	0.4	0.2	40	47.7	0.609	40	41.9	0.696
15	9.26	0.45	0.4	0.18	30	68.9	0.318	60	57.75	0.756
16	10.26	0.23	0.4	0.092	40	49.2	0.597	40	46.1	0.636
17	11.26	0.2	0.4	0.08	15	56.2	0.196	40		
18	12.26				15	65.7	0.167			
19	12.76									
						Suma	9.394			10.6
				Velocidad media de la sección			0.6263			0.707



**Anexo 8. Aforos realizados en la sección 3.**

6/5/15 I- 3:58 pm T-5:02 pm Seccion-3 7/5/15 I-9:05 am T-10:04 am										
Secc	Dist desde orig(m)	Prof (m)	Met	Prof obsr (m)	Rev	Tiemp (s)	v (m/s)	Rev	Tiemp (s)	v (m/s)
1	1	0.64	0.4	0.256	40	52.2	0.562	40	54.4	0.542
2	2	0.57	0.4	0.228	40	56.4	0.522	40	54.4	0.542
3	3	0.5	0.4	0.2	40	58.4	0.504	40	55	0.532
4	4	0.47	0.4	0.188	40	64.2	0.457	40	58	0.504
5	5	0.53	0.4	0.212	40	57.2	0.513	40	57.8	0.504
6	6	0.5	0.4	0.2	40	67.5	0.43	40	58.6	0.496
7	7	0.5	0.4	0.2	35	67.6	0.377	35	62.9	0.406
8	8	0.56	0.4	0.224	25	59.3	0.31	25	61.37	0.3
9	9	0.62	0.4	0.248	20	69.35	0.212	20	65.75	0.222
10	10	0.6	0.4	0.24	15	68.55	0.159	15	67.5	0.162
11	11	0.55	0.4	0.22	10	61	0.12	10	58.15	0.126
12	12	0.55	0.4	0.22	5	70	0.053	5	40	0.092
13	13	0.39	0.4	0.156	5	44.6	0.082	5	58.3	0.063
14	14	0.15	SUP		40	0		40	0	
15	14.78									
Suma							4.301			4.301
				Velocidad media de la sección			0.3308			0.331

**Anexo 9. Aforos realizados en la sección 3.**

7/5/15 I- 3:10 pm T-4:05 pm Seccion-3 8/5/15 I-11:12 am T-11:54 am										
Secc	Dist desde orig(m)	Prof (m)	Met	Prof obsr (m)	Rev	Tiemp (S)	v (m/s)	Rev	Tiemp (s)	v (m/s)
1	1	0.64	0.4	0.256	40	60.9	0.48	40	56.1	0.522
2	2	0.57	0.4	0.228	40	56.5	0.513	40	55.2	0.532
3	3	0.5	0.4	0.2	40	62.3	0.472	40	53	0.552
4	4	0.47	0.4	0.188	40	59.7	0.488	40	60.7	0.480
5	5	0.53	0.4	0.212	40	63.5	0.457	40	68	0.430
6	6	0.5	0.4	0.2	40	60.4	0.488	40	67.8	0.43
7	7	0.5	0.4	0.2	35	65.53	0.388	40	40.2	0.731
8	8	0.56	0.4	0.224	25	62.93	0.29	40	58.2	0.504
9	9	0.62	0.4	0.248	15	56.74	0.193	40	61.5	0.472
10	10	0.6	0.4	0.24	10	56.45	0.131	40	51	0.573
11	11	0.55	0.4	0.22	10	67.33	0.11	40	66.2	0.443
12	12	0.55	0.4	0.22	5	40	0.092	40	61.2	0.48
13	13	0.39	0.4	0.156	5	56	0.066	40	55.2	0.532
14	14	0.15	SUP		40	0		40		
15	14.78									
						Suma	4.168			6.681
				Velocidad media de la sección			0.3206			0.514

## **Anexo 10.**

### **Reglamento de la ley de aguas nacionales**

Publicada en el DOF el 12 de enero de 1994

Última reforma publicada en el DOF 25 de agosto de 2014

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.-  
Presidencia de la República.

**CARLOS SALINAS DE GORTARI**, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, en ejercicio de la facultad que me confiere el artículo 89, fracción I de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, he tenido a bien expedir el siguiente

### **Reglamento de la ley de aguas nacionales**

#### **Título primero**

#### **Disposiciones preliminares**

#### **Capítulo Único**

**ARTÍCULO 1o.-** El presente ordenamiento tiene por objeto reglamentar la Ley de Aguas Nacionales. Cuando en el mismo se expresen los vocablos "Ley", "Reglamento", "La Comisión" y "Registro", se entenderá que se refiere a la Ley de Aguas Nacionales, al presente Reglamento, a la Comisión Nacional del Agua y al Registro Público de Derechos de Agua, respectivamente.

#### **Capítulo III**

#### **Uso en Generación de Energía Eléctrica**

**ARTÍCULO 118.-** "La Comisión", en los términos del artículo 22 de la "Ley" y del presente "Reglamento" podrá hacer la reserva necesaria para concesionar mediante concurso y en los términos del artículo 40 de este "Reglamento", el aprovechamiento de aguas nacionales para usos múltiples, incluida la generación de energía eléctrica, para lo cual publicará la reserva de agua respectiva.

Cuando exista la posibilidad de utilizar con fines hidroeléctricos la infraestructura hidráulica federal, el concurso a que se refiere el párrafo anterior podrá comprender, igualmente, la concesión de dicha infraestructura.

Previamente, "La Comisión" elaborará y aprobará las bases de la convocatoria a que ha de sujetarse el concurso.

**ARTÍCULO 119.-** En las solicitudes de concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales para la producción de fuerza motriz o energía eléctrica, el solicitante deberá presentar a "La Comisión" el proyecto constructivo que trate de desarrollar, la aplicación que se le dará, el sitio de devolución del agua y las acciones a realizar en materia de control y preservación de la calidad del agua y en materia de impacto ambiental, prevención y control de avenidas, y la no afectación de los flujos de las corrientes.

**ARTÍCULO 120.-** No se requerirá de concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de agua, en los términos del artículo 80 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 Megavatios.

La construcción de las obras de infraestructura que se requieran para la generación de energía hidroeléctrica a que se refiere el párrafo anterior, requerirán permiso de la "Autoridad del Agua" para los efectos de los artículos 97 y 98 de la Ley.

Sin perjuicio de lo anterior, las personas físicas o morales a que se refiere este artículo deberán cumplir, en todo caso, con lo dispuesto en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento

**ARTÍCULO 121.-** "La Comisión" podrá aprovechar las aguas nacionales y la infraestructura hidráulica federal para generar energía eléctrica destinada a la prestación de los servicios hidráulicos federales a su cargo, y disponer de los excedentes, en los términos que señale la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica y su reglamento, conforme a lo dispuesto en el artículo 79 de la "Ley".

**ARTÍCULO 122.-** "La Comisión" otorgará a la Comisión Federal de Electricidad sin mayor trámite, la asignación de aguas nacionales para la generación de energía eléctrica con base en la programación hidráulica a que se refiere el Título Tercero

de la "Ley" y a las reservas decretadas para tal uso conforme al Título Quinto de la misma.

**ARTÍCULO 123.-** La coordinación en los estudios y programación que realicen la Comisión Federal de Electricidad y "La Comisión", en los términos del artículo 78 de la "Ley", se realizará en el seno de su respectivo órgano de gobierno y consejo **[41]**.

## **Anexo 11.**

### **Título quinto**

#### **Zonas reglamentadas, de veda o de reserva**

##### **Capítulo Único**

**ARTÍCULO 73.-** Para efectos del artículo 38 de la "Ley", "La Comisión" realizará los estudios técnicos y, de encontrarlos procedentes, formulará los proyectos y tramitará los decretos o reglamentos respectivos, los cuales deberán publicarse por una sola vez en el Diario Oficial de la Federación y en el periódico de mayor circulación en la localidad de que se trate. En los estudios técnicos a que se refiere el artículo 38 de la "Ley", "La Comisión" promoverá la participación de los usuarios a través de los Consejos de Cuenca, o en su defecto, a través de las organizaciones de los usuarios en las zonas que se quieran vedar o reglamentar. El decreto o reglamento respectivo, deberá hacer constar que se elaboraron los estudios técnicos a que se refiere el artículo 38 de la "Ley", al igual que sus resultados, y que se dio la participación a que se refiere el párrafo anterior. **ARTICULO 74.-** Se entenderá por zona reglamentada, aquella en la que el Ejecutivo Federal mediante reglamento, por causa de interés público, establece restricciones o disposiciones especiales para la explotación, uso o aprovechamiento del agua, conforme a la disponibilidad del recurso y a las características de la zona, a fin de lograr la administración racional e integral del recurso y conservar su calidad. El reglamento se aplicará, a partir de su entrada en vigor, tanto a los aprovechamientos de aguas superficiales y del subsuelo existente al momento de su expedición, como a los que se autoricen con posterioridad.

**ARTÍCULO 75.-** Los reglamentos a que se refiere el presente capítulo deberán contener:

- I. El nombre, ubicación y delimitación geográfica de las corrientes, depósitos o acuíferos, objeto de la reglamentación;
- II. El volumen disponible de agua y su distribución territorial;

- III. Las disposiciones relativas a la forma y condiciones en que deberán llevarse a cabo el uso, la explotación y el aprovechamiento del agua, así como la forma de llevar los padrones respectivos; IV. Las medidas necesarias para hacer frente a situaciones de emergencia, escasez extrema o sobreexplotación;
- V. Los mecanismos que garanticen la participación de los usuarios en la aplicación del reglamento, y
- VI. Las sanciones por incumplimiento previstas en la "Ley".

En el reglamento de estas zonas se atenderá a los usos del agua previstos en el Título Sexto de la "Ley", teniendo prioridad el abastecimiento para consumo humano.

**ARTÍCULO 76.-** En las zonas reglamentadas, "La Comisión" promoverá la participación y concertación con los usuarios de las zonas respectivas para:

- I. Establecer los mecanismos o acciones que coadyuven a la vigilancia del cumplimiento de la "Ley", del presente "Reglamento" y, en su caso, de los reglamentos específicos que se establezcan en esas zonas;
- II. Definir mecanismos para la presentación y tramitación de las sugerencias, solicitudes, denuncias o quejas de los usuarios;
- III. Promover y en su caso coadyuvar en las acciones tendientes a preservar las fuentes de agua y conservar o controlar su calidad, y
- IV. Dar a conocer a los interesados el anteproyecto de reglamento específico que formule, para que conforme a derecho expongan lo que a sus intereses convenga.

**ARTÍCULO 77.-** Se entenderá como zona de veda aquella en la que el Ejecutivo Federal mediante decreto, por causa de interés público, establece:

- I. Que no es posible mantener o incrementar las extracciones de agua superficial o del subsuelo, a partir de un determinado volumen fijado por "La Comisión" conforme a los estudios que al efecto realice, sin afectar el desarrollo integral sustentable del recurso y sin el riesgo de inducir efectos perjudiciales, económicos o ambientales, en las fuentes de agua de la zona en cuestión o en los usuarios del recurso; o

II. Que se prohíben o limitan los usos del agua con objeto de proteger la calidad del agua en las cuencas o acuíferos. Para efectos de la fracción III, del artículo 40 de la "Ley", "La Comisión" promoverá la organización de los usuarios de la zona de veda respectiva, para que puedan participar en el establecimiento de las modalidades o limitaciones a las extracciones o descargas, mediante la expedición de las normas oficiales mexicanas respectivas.

**ARTÍCULO 78.-** El Ejecutivo Federal podrá decretar la reserva de aguas nacionales para:

I. Usos domésticos y abastecimiento de agua a centros de población; II. Generación de energía eléctrica;

III. Garantizar los flujos mínimos que requiera la estabilidad de los cauces, lagos y lagunas, y el mantenimiento de las especies acuáticas, y

IV. La protección, conservación o restauración de un ecosistema acuático, incluyendo los humedales, lagos, lagunas y esteros, así como los ecosistemas acuáticos que tengan un valor histórico, turístico o recreativo. "La Comisión" hará los estudios y previsiones necesarias para incorporar las reservas de agua a la programación hidráulica, y promoverá que se mantengan las condiciones de cantidad y calidad requeridas para el cumplimiento de las disposiciones establecidas en las declaratorias respectivas. Las reservas de aguas nacionales deberán publicarse en el Diario Oficial de la Federación e inscribirse en el "Registro".

**ARTÍCULO 79.-** En las zonas en las cuales el Ejecutivo Federal haya decretado una veda o en las zonas en las que se haya reglamentado la extracción y utilización de aguas nacionales del subsuelo, "La Comisión", en los términos de la "Ley" y el presente "Reglamento", a solicitud de los usuarios, expedirá las concesiones o asignaciones para su explotación, uso o aprovechamiento. Las aguas nacionales superficiales se podrán continuar explotando, usando o aprovechando al amparo del título de concesión o asignación respectiva, con las limitaciones y modalidades que en su caso establezcan los decretos y reglamentos correspondientes.



**ARTÍCULO 80.-** Para efectos del artículo 42 de la "Ley", cuando los aprovechamientos de agua no se hayan efectuado en los dos años inmediatos anteriores a la entrada en vigor del decreto o reglamento respectivo, "La Comisión" podrá otorgar las concesiones o asignaciones respectivas, mediante la estimación presuntiva del volumen de agua usada, aprovechada o descargada, considerando indistintamente.

I. Los volúmenes que señalen los aparatos de medición que se hubieren instalado o los que se desprendan de alguna de las declaraciones presentadas, conforme a la Ley Federal de Derechos, por la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales;

II. El cálculo de la cantidad del agua que el titular pudo obtener durante el periodo para el cual se efectúa la determinación, de acuerdo a las características de sus instalaciones, debiéndose tomar en cuenta, entre otros, los siguientes elementos:

- a) Energía eléctrica consumida por cada pozo o aprovechamiento;
- b) Potencia del equipo de bombeo;
- c) Altura o desnivel entre el nivel dinámico del agua y el punto de descarga;
- d) Pérdida por fricción;
- e) Coeficiente de eficiencia del equipo de bombeo;

III. El cálculo de la cantidad de agua que el titular pudo descargar de acuerdo con sus niveles de actividad e índices de descarga unitaria determinados por "La Comisión", o

IV. Otra información obtenida por "La Comisión" en ejercicio de sus facultades, o la que se desprenda de los medios indirectos de la investigación económica o de cualquier otra clase.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A MIS PADRES:** Por enseñarme todo lo que sé.

**A MIS HIJOS:** Por ser la inspiración en mi lucha.

**A MI NOVIA MARINA:** Por su apoyo incondicional, cariño y paciencia en los buenos y malos momentos.

**A MI GRANDES AMIGOS:** Alexander Calderín, Roilan Iglesias y Sandra Aurora, por extenderme sus experiencia y su mano franca.

**A LA FAMILIA AVENDAÑO:** Por darme la oportunidad de compartir con ellos.

**A MIS TUTORES:** Dr. Neín Farrera Vázquez y Dr. Pascual López De Paz por dedicación fortaleza y apoyo.

**A MIS ASESORES:** Dr. Joel Moreira y Mrs. Agustín Osuna, por sus enseñanzas.

**A CONACYT-CIDTER:** Por darme la oportunidad de crecer profesionalmente y desarrollar mis conocimientos.

**AL CENTRO ECOTURÍSTICO EL CHIFLONS:** Por permitir desarrollar mis estudios en sus instalaciones, además de compartir todo su personal sus experiencias y su gratitud conmigo.

**A LA DIVISIÓN HIDROMETRICA DEL SUROESTE CFE):** En especial a los ingenieros Fernando Galindo Gómez Brandí y Jesus Pérez por su apoyo y orientacion a este trabajo.

**A TODA LA COMUNIDAD CUBANA ESTABLECIDA EN CHIAPAS:** Por la fortaleza de su unidad que me alienta cada día que pasa.

**A FAMILIARES, AMIGOS Y COMPEÑEROS:** gracias por su apoyo.

<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura.2.1 Origen de la Energía Hidráulica [R.1]	9
Figura.2.2 Noria, primer artefacto en transformar la energía Hidráulica [R.2]	10
Figura.2.3 (a, b, c, d).Otras manifestaciones de cómo aprovechar la energía del agua	11
Figura.2.4 Prototipo de Turbina Benoit Fourneyron, mejorada por James B. Francis[R.7]	12
Figura.2.5 Northumberland 1880 .Primera Central hidroeléctrica [R.8]	14
Figura.2.6 Países que poseen la principales Hidroeléctricas a nivel mundial [R.11]	17
Figura.2.7 Sistema Hidroeléctrico Tres Garganta (China) [R.12]	19
Figura.2.8 Pequeñas Plantas Hidroeléctricas en zonas Rurales de Asia [R.13]	20
Figura.2.9 Primera Unidad generadora de Necaxa, Puebla .1905 [R.9].	22
Figura.2.10 Construcción de la presa Netzahualcóyotl (Malpaso). Terminada en 1964 [R.10].	26
Figura.2.11 Cuenca Usumacinta [R.14]	29
Figura.3.1 Cuenca Hidrográfica [R.15]	33
Figura.3.2 Medición de gastos en corrientes naturales [R.16]	34
Figura.3.3 Conservación de energía [R-17]	37
Figura.3.4 Transformación de energía hidráulica en energía eléctrica [R.18]	38
Figura.3.5 Método área -Velocidad [R.19]	41
Figura.3.6 Distribución de velocidades a- Sección transversal. b- Perfil [R.19]	41
Figura.3.7 Método de Dilución con trazadores [R.20]	42
Figura 3.8 Turbina Peltón [8]	46

Figura.3.9 Francis [8]	47
Figura.3.10 Kaplan [8]	48
Figura.4.1 .Área de Estudio del potencial hidráulico	52
Figura.4.2 Red de Drenaje	57
Figura.4.3 Método de Strahle [7]	59
Figura.4.4. Método para determinar el área de la sección transversal [5]	62
Figura.4.5 Ejemplo de sección de un río, para determinar su área [5]	63
Figura.4.6. Molinete [R.21)	64
Figura.4.7. Salto hidráulico [5]	66
Figura.5.1 Estaciones climatológicas en nuestra área de estudio	77
Figura.5.2 Preparación de las secciones para el aforo	79
Figura.5.3. Instrumentos utilizados en el aforo del Rio San Vicente	80
Figura.5.4 Aforo de secciones del Rio	80
Figura.5.5 Geometría y área de cada sección	81
Figura.5.6 Recorrido de 2 km en la zona de trabajo, para seleccionar los posibles puntos con potencial hidráulico.	83
Figura.5.7 Instrumentos utilizados para el estudio altimétrico de los saltos hidráulicos y su ubicación en el terreno	84
Figura.5.8 Cascada el suspiro	85
Figura.5.9 Trazado y Perfil para determinar el potencial hidráulico. “Cascada el Suspiro”	86
Figura.5.10 Cascada “Ala de Ángel”	87
Figura.5.11 Trazado y perfil para determinar el potencial hidráulico. Cascada “Ala del Ángel”	88
Figura.5.12 Zona de evaluación del potencial Hidráulico	89
Figura.5.13 Rodete de la turbina según el número específico de revoluciones (Ns). Extraída de Dávila, C [16]	92

<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>PÁGINA</b>
Tabla.2.1 Potencial hidroeléctrico en México CFE ,2008. [10]	21
Tabla.2.2 Potencial hidroeléctrico en Chiapas, CFE. 2008 [10]	24
Tabla.2.3 Proyectos de gran visión Chiapas, CFE. 2008 [10]	25
Tabla.2.4 Capacidad de Pequeñas Plantas Hidroeléctricas a Nivel Mundial [42]	28
Tabla.2.5 Las diez hidroeléctricas más grandes instaladas en México y su capacidad instalada [32]	28
Tabla 3.1 Criterios usados en la microgeneración [20].	49
Tabla 4.1 Rango de caídas vertical del turbinas [25]	68
Tabla.4.2. Tipos de turbinas según velocidades específicas. Tomado de: Gardea Villega, Humberto. Aprovechamiento hidroeléctrico y de Bombeo, pagina 115[19]	70
Tabla.5.1 -Precipitación máxima en 24 horas para diferentes años de retorno	73
Tabla.5.2 Intensidad de la lluvia en 24 horas para diferentes años de retorno, y el gasto calculado teniendo en cuentas estas intensidades	78
Tabla.5.3 Áreas calculadas de cada sección	78
Tabla.5.4 Velocidades medias de cada sección y del rio San Vicente	82
Tabla.5.5 Gasto calculado en cada sección y del Rio San Vicente	82
Tabla.5.6 Calculo del Potencial Hidroeléctrico Rio San Vicente	82
Tabla.5.7 Calculo de la velocidad específica de giro de potencia	90
Tabla.5.8 Tipos de turbinas y rango de trabajo [34]	91
Tabla.5.9 Calculo de la velocidad específica de giro de potencia	91
Tabla.5.10 Turbinas Hidráulicas y velocidades específicas [16].	92
Tabla.5.11 Selección y propuesta del hidrogenerador	94
Tabla.6.1 Interpretación de los Resultados	99

<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b>	<b>PÁGINA</b>
Gráfico.2.1 Fuente: EU Res Export Masterplan 2002 [30]	16
Gráfico.3.1 Inyección de un volumen conocido de trazador [1]	43
Gráfico.3.2 Inyección a caudal constante [1].	43
Gráfico 5.1 Curva hipsométrica	74
Grafico 5.2 Perfil de la pendiente media del cauce	75

## **REFERENCIAS DE IMÁGENES**

**R.1.** Marcano. J. 2013. Nociones de la Ecología. Educación Ambiental. [fotografía] .Recuperado de <http://www.jmarcano.com/nociones/index.html>.

**R.2.** La Noria de Sangre del Zurguen. [fotografía] .2012. Recuperado de [http://www.geocaching.com/geocache/GC41YF8\\_noria-de-sangre?guid=4acd9c65-aa91-4edc-8852-53af192931a4](http://www.geocaching.com/geocache/GC41YF8_noria-de-sangre?guid=4acd9c65-aa91-4edc-8852-53af192931a4).

**R.3.** Molinos de agua asturianos. [fotografía].2013. Recuperado. <http://elblogdeacedo.blogspot.mx/2013/06/los-molinos-de-agua-asturianos.html>.

**R.4.** Historia de los oficios de madera. [fotografía]. 2004. Recuperado de <http://www.MaderaPaloma.com/html/historias-de-los-oficios-de-la-madera.html#Seven>.

**R.5.** Tecnología de la dinastía Song.[fotografía].2014.Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Tecnolog%C3%ADa\\_de\\_la\\_dinast%C3%ADa\\_Song](https://es.wikipedia.org/wiki/Tecnolog%C3%ADa_de_la_dinast%C3%ADa_Song).

**R.6.** Las Ferrerías de la merindad de Campoo. [fotografía].2003.Recuperado de <http://www.vacarizu.es/d6/comment/reply/235>.

**R.7.**Turbinas Francis. [fotografía].2014. Recuperado de [http://es.wikipedia.org/wiki / Turbina\\_Francis](http://es.wikipedia.org/wiki/Turbina_Francis).

**R.8.**Inicios de los Sistemas Hidráulicos en el mundo. [fotografía].2014.Recuperado de [hidro.8m .com /inicios\\_de\\_los\\_sistemas\\_hidraulicos.htm](http://hidro.8m.com/inicios_de_los_sistemas_hidraulicos.htm).

**R.9.**Necaxa cuna de la industria eléctrica. [fotografía]. 2012. Recuperado de [http: / / guerrerosme.blogspot.mx/2012/04/el-tema-necaxa-cuna-de-la-industria.html](http://guerrerosme.blogspot.mx/2012/04/el-tema-necaxa-cuna-de-la-industria.html).

**R.10.**Mi linda Tierra Colorada.[fotografía].2009. Recuperado de [http://mitierracolorada.bogs pot .mx /2009 /10 /gracias-por-visitarnos.html](http://mitierracolorada.blogspot.mx/2009/10/gracias-por-visitarnos.html).

**R.11.**Las 10 centrales hidroeléctricas más grandes del mundo.[fotografía].2104. [http://www.mosingenieros.com/2014\\_01\\_01\\_archive.html](http://www.mosingenieros.com/2014_01_01_archive.html).

**R.12.**SAH. Stahlwerk Annahütte. [fotografía].2014.Recuperado de [Http://es.annahutte.com/Presseinfo\\_Detail.html?SYS\\_MUL03\\_70\\_ID=1012](http://es.annahutte.com/Presseinfo_Detail.html?SYS_MUL03_70_ID=1012).

**R.13.**TODOPRODUCTIVIDAD. [fotografía]. 2011. Recuperado de [http://todoproduktividad .blo gspot.mx/2011/11/aprendiendo-disenar-pequenas-centrales.html](http://todoproduktividad.blogspot.mx/2011/11/aprendiendo-disenar-pequenas-centrales.html).

**R.14.**Cuenca del Usumacinta. [fotografía].2015. Recuperado de [http://es.wikipedia . org/ wiki/Cuenca\\_del Usumacinta](http://es.wikipedia.org/wiki/Cuenca_del_Usumacinta).

**R.15.**Enfoques de Cuencas Hidrográficas. [fotografía].2015. Recuperado de [http://w ww.viv a mosmejor.org.gt/vmg/index.php?option=com\\_content&view=articl e&id=53 :manejo-de-cuencas-hidrograficas&catid=37:slider&Itemid=92](http://www.vivamosmejor.org.gt/vmg/index.php?option=com_content&view=article&id=53:manejo-de-cuencas-hidrograficas&catid=37:slider&Itemid=92).

**R.16.**Plan Estratégico Institucional IMTA 2007-2012.[fotografía].2008.Recuperado de [htt ps://www.imta. gob.mx/gaceta/anteriores/g16-08-2008/plan-estrategico.html](https://www.imta.gob.mx/gaceta/anteriores/g16-08-2008/plan-estrategico.html)

**R.17.**Principios básicos de fluidos.[fotografía].2014. .Energia. Recuperado de [http://www.tecnoficio.com/mecanica/bombas\\_e\\_hidraulica.php](http://www.tecnoficio.com/mecanica/bombas_e_hidraulica.php)

**R.18.**Energías Renovables y Desarrollo Sostenible en Bolivia. [fotografía].2011. Recuperado de [http://eerrbolivia.blogspot.mx/2011\\_03\\_01\\_archive.html](http://eerrbolivia.blogspot.mx/2011_03_01_archive.html)

**R.19.**Guide to Hydropower. [fotografía].2014. Recuperado de <http://www.canyonhydro.com/guide/HydroGuide9.html>

**R.20.** Método químico para la medición de caudales en pequeños arroyos, utilizando cloruro de sodio.[fotografía].2014. Recuperado en [http://www.feriadelasciencias.Unam.mx/anteriores/feria21/feria116\\_01\\_metodo\\_quimico\\_para\\_la\\_medicion\\_de\\_caudales\\_en\\_peq.pdf](http://www.feriadelasciencias.Unam.mx/anteriores/feria21/feria116_01_metodo_quimico_para_la_medicion_de_caudales_en_peq.pdf)

**R.21.**Aforo en un Cauce Natural .[fotografía]. 2005. Recuperado de [http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/Guia\\_Aforo.pdf](http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/Guia_Aforo.pdf)



## RESUMEN

Teniendo como propósito principal determinar el potencial de la energía hidráulica en el Río San Vicente para la generación de energía eléctrica y proponer el hidrogenerador adecuado a los resultados del estudio hidroenergético, realizando primeramente la caracterización - evaluación del río y el caudal, el siguiente trabajo está encaminando al fortalecimiento de estudios del potencial hidroenergético para el empleo de alternativas de energía eléctrica renovables en zonas rurales, debido a que muchos de sus asentamientos no están electrificados y los que cuentan con este servicio, por encontrarse muy dispersas carecen de su calidad. Teniendo en cuenta estas problemáticas, que persiste en las comunidades rurales del Estado de Chiapas, se enfocan nuestros estudios en el Río San Vicente y sus comunidades aledañas, ubicados en el Municipio de Tzimol-Socoltenango.

Se realizaron los estudios sobre la base de las características climatológicas e hidrográficas del río San Vicente, principalmente en cuanto a caudal permanente y desniveles en su cauce, parámetros esenciales para obtener el potencial hidráulico, mediante mediciones *in situ* y métodos de cálculo convencionales, donde su aprovechamiento irá encaminado a la generación de energía eléctrica, así, enfocándose en algunas comunidades y asentamientos cerca de su desarrollo fluvial y enmarcados en su problemática existente, se le propuso el hidrogenerador adecuado a los resultados del potencial hidroenergético, para mejorar u obtener su servicio eléctrico.



# UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

SECRETARÍA ACADÉMICA  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas  
25 de abril de 2016  
Oficio No. DIP-477/16

**C. Reinier Fenton Peñalver**  
**Candidato al Grado de Maestro en**  
**Materiales y Sistemas Energéticos Renovables**  
**P r e s e n t e.**

En virtud de que se me ha hecho llegar por escrito la opinión favorable de la Comisión Revisora que analizó su trabajo de tesis denominado **“Determinación del potencial de energía hidráulica para la generación de electricidad en el río San Vicente, aplicable su uso en zona rural ”** y que dicho trabajo cumple con los criterios metodológicos y de contenido, esta Dirección a mi cargo le **autoriza la impresión** del documento mencionado, para la defensa oral del mismo, en el examen que usted sustentará para obtener el Grado de Maestro en Materiales y Sistemas Energéticos Renovables. Se le pide observar las características normativas que debe tener el documento impreso y entregar en esta Dirección un tanto empastado del mismo.

**Atentamente**

**“Por la Cultura de mi Raza”**

**Dra. María Adelina Schlie Guzmán**  
**Directora.**



DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN  
Y POSGRADO

C.c.p. Expediente