



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

### **Recursos hídricos y necesidad energética en México: el reto de las microhidráulicas en el aprovechamiento de agua residual.**

Adrián Joaquín Morales<sup>1</sup> y Mario Guadalupe González Pérez<sup>2</sup>

#### **Resumen**

El presente papel expone el panorama en la generación de energía eléctrica, particularmente de tipo hidroeléctrico a pequeña escala; mejor conocidas como: mini, micro y pequeñas hidroeléctricas. Estos sistemas se caracterizan por el bajo impacto al medio ambiente natural y representa una vía para el desarrollo en las comunidades rurales. Además implica una oportunidad de fuente producción sustentable, ya que grandes cuerpos de agua superficiales se ven afectados por industrias y asentamientos humanos, ocasionando la contaminación. Por lo que, este trabajo parte de un proyecto de investigación de la factibilidad y retos del reuso de pequeños caudales de agua residual en las comunidades de El Salto y Juanacatlán en el estado de Jalisco.

**Palabras clave:** Agua residual, producción Hidroeléctrica, viabilidad, sustentabilidad.

#### **Abstract**

The present paper presents the panorama in the generation of electric power, particularly small-scale hydroelectric type; better known as: mini, micro and small hydro. These systems are characterized by the low impact to the natural

---

<sup>1</sup> Ingeniero en Energía por la Universidad de La Cienega del Estado de Michoacan de Ocampo, Candidato a Maestro en Ciencias en Ingeniería del Agua y la Energía por el Centro Universitario de Tonalá de la Universidad de Guadalajara, Jalisco, México. e-mail: adrianjomo@gmail.com

<sup>2</sup> Ingeniero Civil por la Universidad Autónoma de Sinaloa, Maestro en Ingeniería por la UNAM, Doctor en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad por la Universidad de Guadalajara. Profesor-investigador en el Centro Universitario de Tonalá de la Universidad de Guadalajara, Jalisco, México. e mail: inge\_united@hotmail.com



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

environment and represent a pathway for the development in rural communities. It also means an opportunity to source sustainable production, since large shallow bodies of water are affected by industries and human settlements, causing pollution. So, this work is based on a research project of the feasibility and challenges of the reuse of small flows of residual water in the communities of El Salto and Juanacatlan in the State of Jalisco.

**Key words:** wastewater, hydropower production, viability and sustainability

### 1.-Introducción.

La energía eléctrica es vital importancia, ya que en ella se sustentan gran parte de las actividades del hombre. Por lo que, este recurso es indispensable para el desarrollo de un país, pero más allá de la importancia que tiene su consumo. Es necesario tener presente la procedencia, que permite analizar el tipo de sistema eléctrico con mayor eficacia posible, generando mayores oportunidades y beneficios ambientales.

Ante esta problemática del rezago energético en el territorio nacional, existen diversas alternativas, la mayoría con tendencia hacia el uso de recursos provenientes de fuentes naturales e inagotables, con procesos de conversión cada vez más eficientes, pretendiendo con ello, la concientización y reducción del uso del recurso fósil para la generación de energía eléctrica. La energía solar, energía eólica, biomasa e hidroeléctrica, son las principales alternativas energéticas, que además de generar reducción en los costos de explotación, disminuyen daños importantes al medio ambiente natural, a través de la disminución de gases de efecto invernadero (GEI). En este sentido, tales alternativas representan un



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

esquema de consumo, abasteciendo mediante sistemas aislados o interconectados a la red eléctrica.

### **2. Las Pequeñas Centrales en la producción de energía hidroeléctrica: un breve bosquejo.**

Años atrás se utilizaba la energía proveniente de caudales de agua, es decir la energía hídrica para actividades que representaban gran esfuerzo físico. Posteriormente, este recurso hídrico ha sido utilizado para la generación de electricidad en grandes centrales hidroeléctricas así como en menor escala para zonas rurales o apartadas.

La energía hídrica se sustenta en base al ciclo hídrico y es considerada como de menor contaminación. Se caracteriza por aprovechar la energía mecánica contenida en una corriente de agua; por lo tanto, se encuentra condicionada principalmente por dos factores fundamentales del caudal y la pérdida de carga ( $Q$  y  $H$ ), respectivamente, la primera representa la hidrología de la zona, mientras que la segunda se debe a la topografía del terreno. Estos dos factores, son determinantes para la elección de la capacidad del sistema hidroeléctrico, en el caso de un sistema a nivel macro, es necesario la construcción de un embalse, que sirve para retener amplios volúmenes de agua, con altos costos y problemas socio-ambientales.

En el caso de los pequeños sistemas de generación de energía hidroeléctrica, el embalse no es necesario, esto significa que el caudal del río no se ve afectado de manera considerable, por lo que en mayor o menor medida, se respeta el caudal ecológico. Estos sistemas son conocidos con el nombre de Pequeñas Centrales



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Hidroeléctricas (PCH). No obstante su implementación se ve limitada hidrológica y topográficamente en el sitio del proyecto.

El recurso hídrico generalmente se ve afectado por las descargas provenientes de industrias o de la actividad humana. Por lo que es evidente que existan ríos o canales de agua contaminados. La mayoría de las veces, no existe un tratamiento en dichos cuerpos o simplemente las Normas no cubren tales contaminantes, lo que propaga el problema, Sin embargo el incorporar los pequeños sistemas hidroeléctricos se presenta la posibilidad de hacer uso de estos caudales sin importar su constitución física, química o biológica.

Ciertamente, es necesario aplicar una separación física de sólidos albergados en el agua, tales como ramas, piedras, basura y arena, para ser uso de una PCH. Estos sistemas se han vuelto notables, principalmente en países emergentes, debido a que representa una alternativa económica y ambiental, consiguiendo satisfacer las necesidades de abastecimiento energético a zonas que carecen del recurso eléctrico o donde la extensión de red prácticamente no es costeable. Adicionalmente, estas tecnologías pueden disminuir la contaminación del medio ambiente causada por las emisiones de gases de los sistemas convencionales, que utilizan combustibles fósiles como el carbón y productos derivados del petróleo. Estos gases contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global de nuestro planeta (BIOMASS USERS NETWORK [BUN-CA], 2002).

En el marco mundial de la generación de energía con aprovechamiento de la PCH, destacan los países asiáticos, quienes llevan a cabo gran número de proyectos instalados, siendo beneficiadas principalmente las zonas rurales. En América Latina sucede algo similar pues según las estadísticas ICSHP (International



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Center on Small Hydro Power) y la UNIDO (United Nations Industrial Development Organizations) realizadas en 2013, la capacidad total instalada en el continente es igual al 19%, debido a la poderosa presencia del petróleo y el gas, la receptividad de esta tecnología puede ser más débil que en Asia o África, aunque la inestabilidad continua de los precios de combustibles fósiles está disminuyendo el camino hacia un mayor uso de las fuentes renovables en el continente (Wiemann, 2013).

En lo que respecta a México, estos sistemas han incursionado desde principios del Siglo XX, principalmente en las regiones montañosas y donde la precipitación es la adecuada como en los estados de Puebla, Veracruz, Chiapas, Michoacán y Oaxaca. Se tiene conocimiento de una serie de centrales que sirvieron y/o que aun operan en la industria papelera, textil, cervecera o la del café. En 1960 se nacionalizó la industria eléctrica, pasaron al poder del estado unas 60 centrales mini-hidráulicas, con una potencia instalada total de 75 MW que eran operadas por diversas compañías en el centro y sur del territorio nacional (Torres, 2006).

Por otra parte, existen estudios realizados por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), antes la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), que identificaron en la sierra norte de Puebla y Veracruz, un potencial estimado de 364 MW de potencia media y 61 MW de potencia instalada, con una generación media anual de más de 3,526.1 GWh/año (SENER, 2012).

### 3.-Principios del funcionamiento de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

El flujo de agua presente en los ríos, conocido comúnmente como caudal (Q), aumenta la energía cinética y potencial de la misma, cuando en su trayecto se



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

puede apreciar una superficie irregular comúnmente llamada desnivel o caída (H). En los casos en donde es posible contar con el recurso necesario, la energía puede ser aprovechada en forma de trabajo mecánico, similar al que se extrajo en la antigüedad para la molienda de granos o el bombeo de la misma, otra alternativa es transformarla a energía eléctrica, para tal caso, la conversión se efectúa con la ayuda de una turbina hidráulica y un generador eléctrico.

No obstante, la clasificación de las PCH es determinada principalmente por los recursos naturales: Q y H, y de acuerdo a la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y El Financiamiento de la Transición Energética, en México se establece como renovable a los proyectos hidroeléctricos con capacidad de hasta 30 MW, o proyectos hidroeléctricos de más de 30 MW con almacenamientos menores a 50,000 m<sup>3</sup> de agua o que tengan un embalse con una superficie menor a 1 hectárea y que no rebasen dicha capacidad de almacenamiento (SENER, 2012).

También es posible clasificar según el tipo de sistema: embalse o agua fluyente, en donde un sistema de embalse como su nombre lo dice, se elabora un dique con la finalidad de detener el caudal del río, formándose un reservorio de agua desde donde se tiene la facultad de manipular el suministro de agua hacia las turbinas. La ventaja que se tiene es un constante suministro, es decir puede generar energía aun en tiempos de estiaje. Mientras que un sistema de derivación no detiene el caudal del río, puesto que desvía parte del caudal a un canal por medio de una toma de agua, dirigiéndola a la turbina. La gran mayoría de los sistemas PCH son del tipo derivación. La desventaja de este método es que el agua no se puede almacenar, ocasionando una variación a lo largo del año.





## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

### 5.- Caso del Río Santiago en Jalisco

Representa una oportunidad aprovechar de manera benéfica la generación de energía a través de este tipo de agua. El presente trabajo se focaliza particularmente en el aprovechamiento en la cuenca que lleva por nombre Río Santiago ubicado en las comunidades de El Salto y Juanacatlan. En donde las características de la zona evidencian la posibilidad de implementar los sistemas PCH reutilizando el flujo existente del Río Santiago.

El río Santiago es uno de los principales ríos del país, tanto por su extensión territorial, población que alberga y el desarrollo económico que genera, ya que, ofrece la oportunidad de realizar diversa gama de actividades para el desarrollo productivo. Cuenta con una extensión aproximada de 500 km y tiene origen en el Lago de Chapala, con una elevación sobre el nivel del mar de 1,530 m, comenzando su escurrimiento en el municipio de Ocotlán, siguiendo su camino hasta cruzar gran parte del territorio del Estado de Jalisco, pasando en su cauce por la zona conurbana de Guadalajara (ZCG), dando seguimiento hasta desembocar en el océano Pacífico. Específicamente el área de estudio está ubicada a orillas del Santiago, entre los municipios de El Salto y Juanacatlán, ambos municipios pertenecientes al estado de Jalisco (Comisión Estatal del Agua [CEA], 2012).

En Mayo del 2013, la Comisión Estatal del Agua, realizó un estudio de evaluación de la calidad del agua presente en el Río Santiago, el estudio tomó registro de diferentes puntos. En lo que respecta al sitio de estudio, se llevó a cabo en la compuerta presente en el puente El Salto-Juanacatlán. En dicho estudio se utilizaron los 3 indicadores de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), los



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

cuales son: la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). El estudio realizado por el CEA en el 2012, tomó como base los lineamientos de Calidad del Agua de la Ley Federal de Derechos (LFD), para la protección a la vida Acuática (CEA, 2012)

En el presente estudio se realiza un análisis económico, con él se pretende dar a conocer la tendencia del proyecto, es decir, si es económicamente viable o no. En donde tal análisis refleja el monto económico necesario para la ejecución del proyecto, para tal caso se requiere realizar la evaluación de los costos totales del proyecto. En este proyecto, solo se ha tomado cuenta la parte electromecánica, ya que de nuestro universo de estudio.

En la evaluación económica, los costos son de total importancia, debido principalmente a los egresos, ya que representan los fondos necesarios para la adquisición del equipo de trabajo, así como también del buen funcionamiento y operación, asegurando la disponibilidad del sistema una vez puesto en marcha. En definitiva se trata de los costos de inversión, de operación y mantenimiento.

El estudio consiste en la aplicación de una PCH de 42.6735 Kw, con tiempo de vida considerada por los Talleres AES Ltda de 25 años. Haciendo la comparación con la energía convencional utilizando la tarifa 1 de la Comisión Federal de Electricidad (2012), que es la correspondiente a la región de la zona del proyecto y realizando el estudio de sensibilidad, una vez determinado la inversión, ingresos, tiempo de vida, el resultado muestra que la implementación de esta planta es no favorable. Ya que las herramientas útiles para evaluación económica VAN y TIR muestran cifras negativas, por lo que no se recomienda económicamente la elaboración de un proyecto de esta naturaleza.





## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

### Conclusiones

Pese al gran crecimiento de la población y la explotación de los recursos, poner la mirada en tecnologías sustentables resulta positivo, ya que estas no contribuyen con el daño ecológico como si lo hace el tipo de energía que se ha arraigado a lo largo del desarrollo tecnológico industrial a base del combustible fósil, llamado oro negro, la cual el no tomar cartas en el asunto representará un aumento en los daños ambientales.

Para el caso especial, las PCH permiten reutiliza las cuencas superficiales aunado a los grados de contaminación que de manera indirecta fueron adoptando agentes ajeno a su constitución natural. Sin embargo las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas están condicionadas a territorios, en donde la presencia de caudal representa una valiosa fuente de energía mecánica, en esta investigación se proyecta una PCH de rangos por debajo de los 100 kw, lo que significa la instalación de una central micro hidráulica, debido a que el potencial máximo a extraer es de 42.67 Kw, lo que representa 5,256 horas netas de trabajo, es decir 7.2 meses del año, el resto será utilizado para mantenimiento.

Aunque este tipo de energía resulte una alternativa sustentable para la generación de energía, principalmente por el reutilizar los caudales que fluyen por la zona, que debido a su constitución fisicoquímica no representan problema. Sin embargo, no es viable económicamente, ya que el análisis de sensibilidad muestra que es económicamente inviable, principalmente por el tiempo de recuperación de la inversión. Por lo que, es importante seguir con el estudio del recurso hidráulico y los sistemas alternativos de producción de energía hidroléctrica.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

### Bibliografía

BIOMASS USERS NETWORK (BUN-CA) (2002) Manuales sobre energía renovable: Hidráulica a pequeña escala, 1 ed., San José, C.R. ,42 p., disponible en: <http://bun-ca.org/publicaciones/HIDRA.pdf>

COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA (2012) “Resultados del monitoreo Río Santiago, Río Zula y Arroyo el Ahogado de Junio de 2012”, Dirección de Cuencas y Sustentabilidad, Gerencia de laboratorio, Jalisco, Disponible en: [http://www.ceajalisco.gob.mx/notas/documentos/2012/monitoreos/monitoreo\\_rio\\_santiago\\_junio2012.pdf](http://www.ceajalisco.gob.mx/notas/documentos/2012/monitoreos/monitoreo_rio_santiago_junio2012.pdf)

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (2015) “Tarifas”, disponible en: [http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas\\_casa.asp?Tarifa=DACTAR1&anio=2015](http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_casa.asp?Tarifa=DACTAR1&anio=2015)

SECRETARÍA DE ENERGÍA (2012) “Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026”, disponible en: <http://docplayer.es/4741995-Prospectiva-de-energias-renovables-2012-2026.html>

TORRES MONTALVO, E. (2006) Control de voltaje del generador de inducción auto-excitado para aplicaciones de micro/mini generación de energía eléctrica, Tesis de Maestría, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. disponible en: [http://www.gdl.cinvestav.mx/jramirez/doctos/maestria/Tesis\\_Emanuel1.pdf](http://www.gdl.cinvestav.mx/jramirez/doctos/maestria/Tesis_Emanuel1.pdf)

WIEMANN, M. (2013) “Small Hydropower, a promising technology for rural electrification”, en Energías Renovables, el Periodismo de Energías Limpias, 20 de Diciembre de 2015, disponible en: <http://www.energias-renovables.com/articulo/small-hydropower-a-promising-technology-for-rural201305>

14