

Pico Centrales Hidroeléctricas (ρCH): una alternativa energética en zonas no interconectadas de Colombia

Stella Monroy González*
Luis E Cano Carvajal **
Germán López Martínez***

Pico Hydroelectric (ρCH): an energetic alternative in non-interconnected zones in Colombia

Resumen

En el presente trabajo se describe el procedimiento adelantado, hasta la fecha, por el Grupo interdisciplinar de Estudios Ambientales (GEA), en el desarrollo del proyecto de investigación "Estudio de factibilidad para la implementación de una Pico Central Hidroeléctrica (ρCH) de 1000 w en zonas llanas no interconectadas de Colombia", el cual está orientado a formular una posible solución a la falta de energía disponible en la zonas de la Orinoquía y la Amazonía colombianas. Se inicia con una breve descripción de la problemática, posteriormente se analiza el recurso hídrico y las condiciones demográficas de la región objeto de estudio; a continuación, se describen algunas características de la denominada generación distribuida (GD), y en ella, las pico centrales hidroeléctricas, que podrían implementarse, considerada como opción válida para la solución del problema; finalmente, la metodología propuesta para adelantar el estudio del impacto ambiental que una obra de estas características genera.

Palabras clave: : Zonas no interconectadas, Picocentral, Generación distribuida, Turbina hidráulica.

Abstract

The following paper describes the updated progress by the Environmental Studies Group (GEA) in the development of the research project "Feasibility study in the implementation of a Peak Hydroelectric Plant (ρCH) of 1000 W in non-interconnected, plane zones in Colombia". This is aimed to formulate a possible solution to the lack of energy in the areas of the Colombian Amazon and Orinoco. It begins with a brief description of the problem, the water resource and the demographics situations of the region are under study; later on, some characteristics of the so-called distributed generation (DG) are described, and at the same time, the central peak hydropower that could be implemented which will be considered a valid option for the solution of the problem. Finally, the proposed methodology to get on with the study of environmental impact of a building works like this.

Key words: *Non-interconnected zones, Central peak, Distributed generation, Hydraulic turbine.*

Fecha de recepción: Abril 20 de 2011

Fecha de aprobación: mayo 19 de 2011

* Ingeniera Química Universidad de América, especialista en Docencia Universitaria de la Universidad Industrial de Santander. Docente Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central. Investigadora grupo GEA correo electrónico: stellamon1961@gmail.com.



1. Introducci3n

El grupo interdisciplinar de Estudios Ambientales GEA, ha planteado investigar sobre el desarrollo tecnol3gico en la generaci3n de energa limpia, como soluci3n a una de las problem3ticas que tiene actualmente Colombia, como es la falta de disponibilidad permanente y confiable de energa el3ctrica en las denominadas zonas no interconectadas (ZNI), para esto se formul3 el proyecto “Estudio de factibilidad para la implementaci3n de una Pico Central Hidroel3ctrica (pCH) de 1000 W en zonas llanas no interconectadas de Colombia”, con el fin de iniciar una serie de trabajos que conduzcan al planteamiento de una alternativa t3cnica y econ3mica para la soluci3n parcial del problema de suministro de energa el3ctrica, a pequeas comunidades, (m3ximo 4 familias), ubicadas en ZNI de Colombia, espec3ficamente en las regiones de la Orinoqu3a y la Amazon3a colombianas, las cuales se caracterizan por contar con buenos recursos h3dricos pero con ausencia de grandes

** Ingeniero Electricista Universidad Nacional. Especialista en gesti3n y auditor3a ambiental Universidad Santo Tom3s. Docente de planta Escuela Tecnol3gica Instituto T3cnico Central. Investigador grupo GEA correo electr3nico: luecano@yahoo.es.

***Ingeniero Mec3nico Universidad de Am3rica. Especialista en Educaci3n en Tecnolog3a Universidad Distrital. Magister en Ingenier3a Mec3nica Universidad de los Andes. Docente de planta Universidad Distrital, docente Escuela Tecnol3gica Instituto T3cnico Central. Investigador grupo GEA. Correo electr3nico: germanlopezm@yahoo.es



saltos de agua; esta situación obliga a plantear soluciones tecnológicas viables.

El proyecto formulado buscó integrar a profesores, estudiantes e investigadores de la ETITC para fortalecer la formación de técnicos, tecnólogos e ingenieros, fomentar la investigación aplicada en los futuros profesionales y apoyar el avance tecnológico del país a través del planteamiento de una solución concreta a uno de los problemas del entorno local, regional y nacional.

2. Metodología

Para el desarrollo del proyecto se definieron tres fases. La primera fue la revisión bibliográfica sobre ZNI, su distribución geográfica y recursos hídricos; tipos de turbinas y generadores a usar, evaluación del recurso hídrico disponible. La segunda fase consistió en el estudio y selección de alternativas generadoras de energía, pre-evaluación del impacto ambiental generado y la selección de la mejor alternativa desde el punto de vista técnico, económico y ambiental; la tercera fase correspondió al diseño detallado de la propuesta seleccionada incluyendo diseño del sistema de control y distribución, obras civiles, estudio de costos de fabricación y operación, mediante un análisis financiero (Costo/Beneficio), y el estudio del impacto ambiental del proyecto.

En el segundo semestre del 2009 se inició la fase de revisión bibliográfica, a través de la integración de la investigación formativa realizada en las asignaturas de Fundamentos de Investigación y Energías Alternativas en el programa de Electromecánica de la Escuela Tecnológica con estudiantes de tercero y sexto semestre respectivamente. Se organizaron dos grupos de trabajo, el primero caracterizó las regiones y microrregiones en las ZNI de Colombia, y el segundo consultó sobre los posibles tipos de turbinas a emplear en una pCH.

3. Marco conceptual

La generación de energía eléctrica en regiones con bajo nivel de desarrollo económico presenta una gran dificultad ya que por lo general, no es económicamente rentable; su ausencia impide a sus pobladores contar con servicios básicos, como salud, agua potable y educación, entre otros. Esto ha obligado a las comunidades a emplear energéticos sustitutos, de elevado impacto ambiental, menos eficientes y más costosos, como pequeñas plantas generadoras a base de motores Diesel.

ZONA NO INTERCONECTADAS: Las zonas no interconectadas (ZNI) del país son aquellas áreas que no reciben servicio de energía eléctrica a través del sistema de interconexión nacional (SIN); alcanzan una extensión cercana a los 600.000 km² lo que representa algo más del 52% del territorio nacional, en ellas se encuentran 929 localidades, que corresponden a 72 cabeceras municipales y 857 localidades rurales, donde habitan aproximadamente 2 millones de habitantes. (COMPES, 2006)

En la figura 1 se presentan las ZNI de Colombia y se indica el porcentaje de no interconectividad; en ella; se aprecia que la Orinoquía y la Amazonía no cuentan con el servicio de interconexión eléctrica, lo cual hace que estas zonas tengan un bajo nivel de desarrollo económico y social, por no decir que este sea nulo. (IPSE, 2009)

La alternativa de implementar un proyecto de generación de energía eléctrica a gran escala para alguna de estas vastas zonas, es prácticamente descartada, por los altos costos de inversión inicial, (incluidos los correspondientes a la obtención de la licencia ambiental y a las obras para mitigar el impacto ambiental), en comparación con la población atendida, que en algunos casos solo llega a contar con tres habitantes por kilómetro cuadrado. La opción de electrificación rural, mediante el

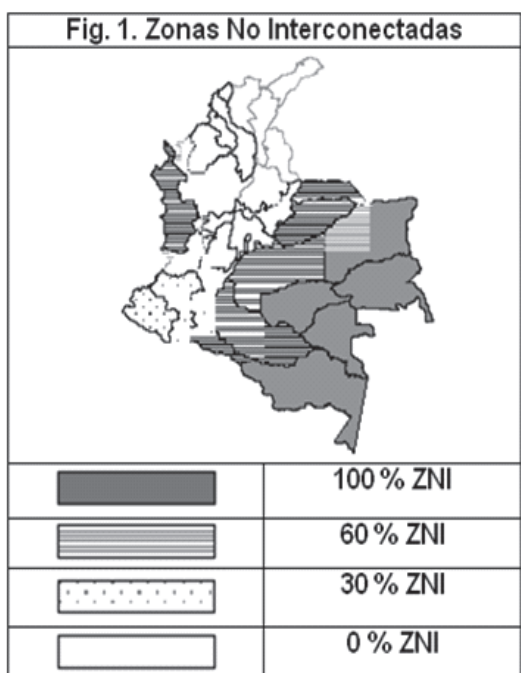


Figura 1 Zonas No Interconectadas de Colombia.

tendido eléctrico a partir del SIN, es prácticamente improbable, debido también, a los altos costos de instalación, (las líneas de transmisión representan más del 75% del costo total de una electrificación total), además de los costos de mantenimiento y administración, que también son altos si se les compara con la baja densidad poblacional atendida.

Por otro lado, si se hace un estudio comparativo del impacto ambiental, y del desarrollo económico entre dos comunidades aisladas, en las cuales una de ellas no cuenta con el servicio eléctrico y la otra si, el análisis de estas variables, en la mayoría de los casos indica, que el menor impacto ambiental se tiene en la comunidad que cuenta con

Foto 1. Cuenca del río Amazonas.
Fuente <http://www.internationalrivers.org/am-rica-latina/los-r-os-de-la-amazon/r-o-madeira>

energía eléctrica, además de presentar niveles de desarrollo económico mayores; lo anterior hace pensar que es prioritario plantear alternativas de solución viables, desde el punto de vista económico y ambiental, para las comunidades que habitan estas ZNI. (CREG, 2000)

4. Necesidades insatisfechas

Los usos de la energía en ZNI básicamente son: cocción de alimentos, iluminación, refrigeración y comunicaciones; con una muy baja participación de los sectores industriales y comerciales en el consumo final. Las fuentes de energía más utilizadas son la energía eléctrica (61%), kerosene (26.7%), leña (6%) y otros como el GLP, carbón, gasolina, acpm, pilas, baterías y velas. El suministro de energía eléctrica depende en su mayoría, de los combustibles fósiles (diesel y combustóleo) utilizados en plantas electro generadoras, las que operan, a altos costos de generación, principalmente por el elevado costo del transporte del combustible, (vía aérea y fluvial), además de los altos costos ambientales generados debido a la emisión de CO2; también existen unas pocas plantas electrogeneradoras, a base de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) y algunos sistemas fotovoltaicos.





Foto 2. Cuenca del río Amazonas

Fuente: <http://picasaweb.google.com/jessicaardila83/LIMAIQUITOSBOLIVIA>

¿Cómo se aprovisionan de energía eléctrica en las ZNI?

“Actualmente se cuenta con algunas neveras de gas para conservar el frío, plantas eléctricas que funcionan con gasolina pero que solo se emplean en ocasiones muy especiales por el alto costo del combustible, plantas solares que solo suministran iluminación y en ocasiones alcanza para prender un televisor, pero en la mayor parte de las comunidades se emplea la leña como combustible e iluminación ya que el costo de utilizar otro sistema de iluminación es muy alto para una familia promedio donde el salario por día no sobrepasa los \$15000 (U\$ 8) y el costo de un sistema de iluminación diferente supera los \$10000 (U\$ 5.3), por día.”.....” El problema real de la falta de energía tiene que ver con las pocas oportunidades que tienen los campesinos de manejar sus productos perecederos debido a la falta de cadenas de frío que impidan el deterioro de los productos por los largos espacios y tiempos de recorrido para recolectar los productos. Lo ideal sería que en las cabeceras de las veredas se pudiera garantizar un sistema de enfriamiento para que los productos lleguen en buen estado a las cabeceras municipales. De otra parte, las comunidades europeas han suministrado recursos para emprender cultivos que garanticen ingresos a las comunidades pero no existen cadenas productivas que permitan darle un valor agregado a los productos una vez cosechados como la flor de Jamaica, la caña de azúcar, y productos tradicionales como el plátano

En la actualidad hay alrededor de 1070 electrogeneradoras en ZNI, con una capacidad nominal total de cerca de 120 MW distribuidos en más de 940 localidades. La mayoría de las plantas (72%) tienen una capacidad nominal menor a 60 kw. En general, la densidad poblacional de las ZNI es extremadamente baja (3 hab/km²), por la dispersión tanto de los municipios como de las viviendas, factor que hace difícil la logística de atención del servicio de energía mediante redes de distribución convencionales, por los altos costos unitarios de inversión y operación, debido a la deficiente o nula infraestructura de movilización y transporte, agravada por las condiciones políticas y socioeconómicas de estas zonas. El servicio de energía eléctrica, en estas zonas, se presta en promedio 13 horas diarias en las cabeceras municipales y de 8 horas diarias para las zonas rurales. (UPME, Energía renovable: estrategia de desarrollo sostenible en Colombia., 2006).

Esta problemática se evidencia cuando se entra en contacto con habitantes de estas zonas, tal como se puede apreciar en la siguiente entrevista realizada a un líder comunitario de la región de Puerto Lleras Meta.



Foto 3. Cuenca del río Amazonas. Fuente: <http://www.internationalrivers.org/am-rica-latina/los-r-os-de-la-amazon/r-o-madeira>

arroz y la yuca que podrían tener un uso industrial si se lograra contar con la energía suficiente para crear sistemas productivos. En las cabeceras municipales ya existen líneas monofásicas pero lo que se requiere son sistemas trifásicos que disminuyan los costos y aumenten la efectividad. Lo ideal sería tener un sistema de energía mixto que supliera las necesidades de iluminación y de industria” “el estado debería construir redes eléctricas con las regalías pero aún así el costo de energía para los llaneros es muy alto debido al bajo ingreso por persona y además porque las comunidades no están cercanas una de otra sino que son muy aisladas”.

¿Qué oportunidades cree usted que se presentarían si entidades como las universidades realizaran proyectos de generación de energía para las ZNI?

“No solo la producción de energía sino también el apoyo en proyectos productivos ya que muchos de nuestros productos se pierden en la cadena de comercialización cuando se podría aprovechar la biodiversidad de flora y fauna para generar industria con un bajo costo en mano de obra y con productos de excelente calidad”

“En estas regiones los productos que requieren enfriamiento no son comercializados sino temporal y selectivamente por personas que en ocasiones ofrecen productos como helados, cachama y pollo usando el sistema de termos y utilizando hielo seco lo que aumenta mucho el valor de los productos, además tienen que transportarse en motos y en algunos casos y en canoas asumiendo otros costos como el pase del río en planchón y solo entran los productos cuando la vía se pres-



ta por que cuando las lluvias se intensifican es muy difícil el acceso a ciertas áreas y en el caso de los pescadores que están sobre el río pierden precio en el producto por que tienen que venderlo rápido y cuando se demoran en llegar al municipio pierden el producto por descomposición a menos que lo salen”

“Respecto a los ganaderos también tienen muchos problemas con el manejo de conservación de algunos insumos y lo producido”. (Lider comunitario, 2011)

5. Descripción hídrica de la zona objeto de estudio

5.1 Vertiente del Orinoco

La vertiente hidrográfica de la Orinoquía incluye grandes ríos como el Orinoco, Guaviare, Meta, Inírida y otros más pequeños como el Tomo y el Vichada. La mayor parte de los ríos de esta vertiente nacen en la cordillera oriental y descienden a la llanura donde se desplazan y generan amplias zonas de inundación. (EL TIEMPO, 2001)

El principal río de esta vertiente es el Orinoco, el cual baña el suelo colombiano en una extensión de 250 km, justamente donde sirve de límite con la hermana república de Venezuela. Sin embargo, dentro del territorio colombiano comprende las hoyas de los ríos Arauca, Meta, Vichada, Guaviare, Inírida, Ariari, Guayabero, Casanare, Tomo, Cusiana, Tuparro y Guarrojo. (LA TIERRA, 2006)



Los departamentos que constituyen esta región son: Meta, Vichada, Casanare y Arauca.

Deriva su nombre por constituir con los ríos que nacen en sus montañas y recorren su territorio una cuenca importante del río Orinoco, que establece los límites de Colombia con Venezuela en los 268 kilómetros en los cuales comparten su recorrido.

La mayor parte de los ríos afluentes del Orinoco en Colombia son navegables, entre ellos se puede mencionar: Guaviare, Meta, Vichada, Tomo y Arauca; los cuales, a su vez reciben la corriente de otros ríos caños y quebradas, haciendo que esta región cuente con una gran riqueza hídrica, lo cual favorece la flora y fauna de la misma. (COMISIÓN FILMICA COLOMBIANA, 2008)

Otro nombre con el cual se conoce esta región es “los Llanos Orientales”, por las inmensas llanuras que se encuentran en su territorio, ubicado en la región oriental de Colombia, razón por la cual sus habitantes son más conocidos como llaneros.

La Orinoquía colombiana cuenta con las siguientes subregiones:

Piedemonte Llanero: constituido por la región que se encuentra más cercana a las estribaciones de la cordillera oriental, o sea al pie del monte, de lo cual deriva su nombre

Llanuras del Meta y del Guaviare: Formada por los llanos que se encuentran en los valles de estos ríos.

Serranía de La Macarena: Más conocida como parque natural del mismo nombre.

Pantanos del Arauca: Humedal formado por la sabana inundable en la ribera del río Arauca.

Cuenca del río Orinoco

Este gran río, el tercero por su caudal en esta parte del mundo, nace en los límites entre Brasil y Venezuela, en la sierra Parima; su longitud total es de 2900 km, de los cuales son navegables 1930 y 420 se desarrollan en la región limítrofe entre ambos países. Este sector del río es navegable por embarcaciones mayores, pero la navegabilidad se ve interrumpida por los rápidos de Atures y Maipures. (GALEON, 2007)

Su hoya hidrográfica lo coloca también en los primeros lugares de América, pues su extensión es de 757.000 km². Se comunica con el Amazonas a través del brazo natural de Casiquiare que desagua en el río Negro, formando entre ambos, una inmensa red hidrográfica, la mayor de Suramérica. (REGIONES DE COLOMBIA, 2006)

El Orinoco desagua en el océano Atlántico, en territorio venezolano, por cerca de 50 bocas, for-

Foto 4. Cuenca del río Amazonas

Fuente: <http://contours.businesscatalyst.com/Product%20Webpages/MVRioAmazonasIquitostoLeticia>





mando un inmenso delta. Los más importantes afluentes colombianos del Orinoco son de norte a sur: Arauca, el Meta, Vichada y Guaviare. (FAUNA Y FLORA, 2008)

Cuenca del río Arauca

Nace en el Páramo del Almorzadero a 4.000 metros de altura sobre el nivel del mar, cuenta con una longitud 1.050 km, de los cuales 510 km son navegables. Marca límites con Venezuela en 280 km y recorre en Colombia 400 Km, para finalmente verter sus aguas en el río Orinoco. Sus principales afluentes son los ríos Bajabá, el Satocá, el San Miguel, Maroua y Rudiván. (TODA COLOMBIA, 2006)

Cuenca del río Meta

Es el principal río de los Llanos Orientales colombianos, con un total de 804 km de los cuales 785 son navegables, haciéndolo de gran utilidad para el comercio de estas extensas regiones y con Venezuela, a través del Orinoco. El Meta tiene sus fuentes en los ríos Humea, Guayuriba y Guatiquía,

los cuales nacen en el páramo de Sumapaz, en la cordillera Oriental; entre sus afluentes figuran el Cravo Sur, el Casanare, el Cusiana, el Upía y el Manacacías, entre otros. (REVISTA ANTROPIKA, 2010).

Cuenca del río Vichada

Nace en pleno llano, en el departamento del Meta. Su longitud es de 700 km, de los cuales son navegables cerca de 450. Es rico en peces y las tierras que riega son ganaderas. Sus principales afluentes son los ríos Tillavá, Planas y Muco. (RIOS DE COLOMBIA, 2005).

Cuenca del río Guaviare

Surge de la confluencia de los ríos Ariari y Guayabero, los cuales nacen en la cordillera Oriental. Es el más largo de la Orinoquía con sus 1350 km de curso, de los que son navegables 620, por embarcaciones menores, debido a los raudales de su lecho. Marca límites entre el llano y la selva; su principal afluente es el Inírida, río de selva y con muchos raudales que dificultan su navegación. (MARTINEZ, 2010).

5.2 Vertiente del Amazonas

Es la mayor vertiente del mundo y a Colombia le corresponde cerca de 332.000 km², comprendiendo los ríos más largos del país. El caudal, de sus ríos es casi siempre considerable y se dificulta la navegación en ellos, bien por los raudales o rápidos que presentan algunos como consecuencia de desniveles propios del terreno, o por el carácter

Foto 5. Cuenca del río Meta. Fuente: http://www.gobvichada.gov.co/joomla/index.php?view=article&id=97&option=com_content&Itemid=59



selvático de las regiones que atraviesan. (PLANETA SEDNA, 2007).

Estos ríos bañan las regiones llanas de la selva amazónica, donde reciben por lo general el aporte de numerosos caños que generan una considerable cantidad de ciénagas y pantanos a lo largo de todo su curso. La vertiente está conformada por los ríos Putumayo, Vaupés, Caquetá, Guainía, Caguán, Orteguzza, Yará, Cahuinari e Igara Paraná.

Está comprendida por los departamentos de Amazonas, Caquetá, Guainía, Guaviare, Putumayo y Vaupés, situados al sureste de Colombia.

El río Amazonas y su entorno, constituido en su mayor parte por el Matto Grosso en Brasil, es conocido como el pulmón del mundo por ser la mayor fuente de oxígeno del planeta, parte este entorno se encuentra en Colombia, razón por la cual esta región se denomina Región Amazónica.

La alta biodiversidad de flora y fauna, es su mayor riqueza natural, facilitada por las características climáticas y ambientales de las diversas regiones que la conforman. La región Amazónica abarca gran parte del territorio de Colombia, alrededor del 40%, siendo al mismo tiempo la región menos poblada del país. (BIBLIOTECA VIRTUAL, 2006).

La mayor parte de su territorio es llano y selvático, con una parte conocida como piedemonte amazónico, formado por las estribaciones de la Cordillera Oriental colombiana.

La región Amazónica cuenta con una alta riqueza étnica, puesto que gran parte de su población está conformada por tribus indígenas que conservan sus costumbres, su lenguaje, su cultura y sus tradiciones, quienes han convivido siempre con la naturaleza que los rodea y que constituye su hábitat, manteniendo una lucha permanente por la preservación de ésta región; entre ellos se pueden mencionar los Nukaks (quienes conservan aún sus



Foto 6. Cuenca del río Amazonas

Fuente: http://www.equilibrio.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=371:descenso-alarante-en-el-caudal-de-rio-amazonas&catid=49:agua&Itemid=58

costumbres nómadas), los Ticunas, los Tucanos, los Camsás, los Huitotos, los Yaguas y los Ingas. (PARADISE, 2009).

Sus costumbres alimenticias están basadas en los productos agrícolas nativos de la región y en el pescado, los cuales preparan de una forma particular conocida como la técnica de las tres piedras.

La Región Amazónica cuenta con nueve parques nacionales naturales, para preservar la riqueza de su biodiversidad y constituir dentro de ellos santuarios para las diversas especies vegetales y animales que los habitan.

Algunas de sus capitales de departamentos como San José de Guaviare, Mocoa y Florencia están conectadas por vía terrestre con el resto del país, de otra forma las únicas vías de comunicación son la fluvial o la aérea, sin contar con vías terrestres; de esta forma, Colombia contribuye a disminuir el impacto ambiental y a conservar la región como reserva natural mundial y pulmón de la humanidad. (PARADISE, 2009).



Cuenca del río Amazonas

Con seguridad puede afirmarse que este es el río más notable del mundo. Su longitud alcanza los 6.275 km. de los cuales son navegables 5.000; cuanta con un caudal máximo de 160.000 m³/s y alrededor de 270 afluentes; forma en su desembocadura un estuario (boca) de 300 km de ancho; y posee una red navegable de 100.000 km, incluyendo a sus afluentes.

El Amazonas es el segundo río en el mundo por su longitud, después del Nilo (6.450 km), el primero por su caudal y por su navegabilidad, de la que se deriva su mayor importancia y de la que se benefician, Perú, Ecuador, Colombia y Brasil. En su primer tramo se llama Marañón y nace en la laguna de Lauricocha (cordillera Occidental de los Andes peruanos). En realidad, el Amazonas propiamente dicho empieza en la confluencia de los ríos Marañón y Ucayali. (EL MUNDO, 2009).

A Colombia le corresponden sólo 116 km de su gran extensión, al sur del trapecio amazónico, donde demarca los límites con el Brasil. En el trayecto que recorre por Colombia es navegable en toda su totalidad, siendo Leticia el puerto más importante del Amazonas, en nuestro país. Son varios los ríos colombianos que forman parte de la cuenca del Amazonas, destacándose desde el punto de vista económico los ríos Negro o Guainía, Caquetá, el Vaupés y el Putumayo. (WEB EMPRESA, 2008).

Cuenca del río Negro o Guainía

Nace en el departamento del Guainía, en plena selva amazónica. Tiene una longitud de 2.000 km, de los cuales 650 corresponden a territorio colombiano. En total, la navegabilidad de este río asciende a 1700 km y a su vez, marca los límites entre Colombia, Venezuela y Brasil. (GET MAP, 2007)

Cuenca del río Caquetá

Se origina en el Macizo Colombiano, (páramo de las Papas) y recorre en total 2.200 km, de los cuales 1.200 km corresponden a Colombia y el resto a Brasil. Es navegable en 1.700 km, interrumpidos por los rápidos de Araracuara. Sus principales afluentes son el Apaporis, el Caguán y el Ortegaza. (ATLAS DR PEZ, 2009).

Cuenca del río Vaupés

Nace también en plena selva amazónica, por la confluencia de los ríos Unilla e Itilla, en el departamento del Vaupés. Tiene 1.000 km de curso, los cuales son navegables en forma interrumpida. Es el afluente colombiano más importante del Guainía. (RAIZ, 2004).

Cuenca del río Putumayo

Es río fronterizo de Colombia con Perú, totalmente, y con Ecuador sólo en parte. Nace en el nudo de los Pastos, recorre 2.000 km, de los cuales 1.500 en Colombia. Son navegables 1650 km en total. Su principal afluente es el Guamués. (MARTINEZ, 2010).



Foto 7. Cuenca del río Putumayo. Fuente: http://ecosistemastropicalesucn.blogspot.com/2010_04_01_archive.html



6. Pico Central Hidroeléctrica opción de Generación Distribuida (GD)

La opción que se vislumbra es la denominada generación distribuida (GD). Esta consiste en un centro de generación de energía eléctrica a pequeña escala, que se encuentra cerca del lugar de consumo; generalmente son sistemas con capacidades de generación relativamente pequeñas en comparación con las centrales de generación tradicional. Manejan rangos de potencia desde unos cuantos kw hasta 5 Mw.

Una estación de GD puede funcionar bajo dos esquemas: en sitios aislados sin acceso a la red eléctrica o interconectada con la red eléctrica. Las tecnologías de GD se dividen, a su vez en convencionales y no convencionales. Las primeras contemplan los combustibles fósiles como fuente energética para mover una microturbina de gas o un motor de combustión interna, (generalmente un motor Diesel) los cuales a su vez mueven un generador eléctrico; las segundas hacen referencia al empleo de las energías renovables en sus diferentes formas, según la disponibilidad de estas en la zona objeto de estudio. (CONVEVIELLO, 2003).

La GD presenta ciertas ventajas para los usuarios como: incremento de la confiabilidad en el servicio eléctrico, reducido número de interrupciones, uso eficiente de la energía, facilidad de adaptación a las condiciones del sitio; y para el suministrador como: acceso a zonas remotas, mayor regulación de la tensión, y reducción del índice de fallas.

Entre las diferentes opciones de energías renovables a usar en un proyecto de GD, es el desarrollo e implementación de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), (menores a 5Mw); son aquellas que aprovechan el recurso hídrico para la generación eléctrica. Dentro de las PCH se en-

cuentran las Pico Centrales Hidroeléctricas (pCH) que generan hasta 5 kw de potencia. Se ha escogido esta opción debido a que la potencia a generar es de 1000 w, cantidad suficiente para suplir necesidades básicas, (como la iluminación), a comunidades pequeñas de máximo cuatro familias, que según los autores del presente trabajo, consideran suficiente como una primera aproximación relativamente económica a la problemática planteada. (GIRALDO & SANDOVAL, 1999).

7. La turbina de una PCH

La turbina es la máquina que convierte la energía hidráulica en mecánica; se acopla, por lo general de manera directa al generador, y entre los dos atienden la demanda de energía eléctrica. En una Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) se pueden emplear varios tipos de turbinas, que dependerá del caudal y de la cabeza disponible. (KROCHIN & NOVILLO, 2008).

Las turbinas, según transformen la energía hidráulica en mecánica se pueden clasificar en turbina de acción o impulso y en turbinas de reacción.

7.1 Turbina de acción o impulso

El agua entra al rotor a la presión atmosférica; la presión estática permanece constante entre la entrada y la salida del rotor. Actúa bajo la fuerza de acción o impulso que le imprime el chorro de agua, (energía cinética), y la dirección del agua cambia, más no su aceleración. Es de admisión parcial, o sea que solo una parte del perímetro del rotor recibe agua. Existen tres tipos de turbinas de acción a saber: Pelton (con uno y hasta seis inyectores), Turgo, de flujo cruzado (o Michell Banki), y las de Rio balsa (que es exclusiva de las pCH)



7.2 Turbina de reacción

El agua entra al rotor a una presión mayor a la atmosférica, y la presión estática disminuye entre la entrada y la salida del rotor. La dirección y aceleración del agua cambian al pasar por el rotor, esta situación genera una fuerza de reacción, que ayuda a mover el rotor. Es de admisión total, o sea que todo el perímetro del rotor recibe agua. Existen tres tipos de turbinas de reacción a saber: Francis, de hélice y Kaplan. (ZUBICARAY, 1989)

Según el salto de agua (o cabeza) disponible, las turbinas hidráulicas se pueden clasificar en máquinas de salto alto, medio y bajo, pero esta clasificación es independiente de la potencia de la máquina, ya que es posible tener una turbina de salto alto y de baja potencia. Por ejemplo si se cuenta con una turbina tipo Pelton para instalarla en un sitio que tiene 50 m de cabeza y 0.5 m³/s de caudal, la potencia que se podría generar sería algo más de 200kw, mientras que si se quisiera generar 1Mw de potencia con este tipo de turbina y el mismo caudal se requiere de un salto superior a los 220m. (DA ROSA, 2010).

La razón de tener tanta variedad de turbinas, se debe a la disponibilidad del recurso hidráulico y de las condiciones del terreno.

Para el caso de estudio, donde se dispone de cabezas bajas, las turbinas más recomendables a

usar son la de Flujo Cruzado o Michel Banki y la de río balsa cuando se trata de bajas potencias. Sin embargo también se podrían emplear las turbinas de reacción para saltos bajos

En este caso específico el grupo GEA se ha inclinado por las turbinas de impulso, o sea la de flujo cruzado o la de río balsa.

7.3 Turbina de flujo cruzado o Michel Banki

La turbina de flujo cruzado es una máquina hidráulica usada con recurso hidráulico para generar hasta 2000 kw. Son aptas para trabajar en un rango muy amplio de cabeza o salto de agua, desde 10m hasta 200m, y trabajan con caudales desde 0,5 m³/s, hasta 10 m³/s. Es de fácil construcción por tener un diseño muy sencillo, y tiene un costo de fabricación relativamente bajo; su principal desventaja frente a otros tipos de turbinas hidráulicas empleadas con caídas similares, es que tiene un rendimiento menor, (entre 65 y 80%). Cuenta con un sistema de inyección, una válvula de regulación, un rotor y un sistema de desagüe. (GOMEZ, 2008).

Según algunos estudios realizados en Colombia, se tienen registros de al menos 22 plantas hidráulicas con turbinas de flujo cruzado que han funcionado correctamente.

En algunas universidades colombianas, como Los Andes, la UIS, Del Valle y la Nacional sede Medellín, se han desarrollado modelos de turbinas de

Tipo de turbina	Salto (o cabeza)		
	Alto >50m	Medio (10-50) m	Bajo <10m
Impulso	Pelton (1-2 inyect)	Flujo cruzado	Flujo cruzado Río Balsa
	Turgo	Turgo	
	Pelton (3-6 inyect)	Pelton (3-6 inyect)	
Reacción		Francis	Francis
			De hélice
			Kaplan

Tabla 1 Clasificación de las turbinas empleadas en las PCH según salto o cabeza. (ORTIZ, 2001)

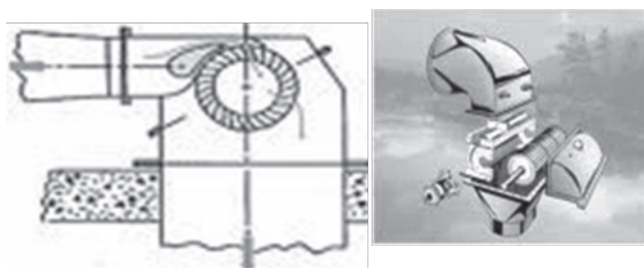


Figura 2. Turbina de flujo cruzado o Michel Banki

flujo cruzado con relativo éxito de operación. También existen, en Colombia al menos tres empresas que fabrican este tipo de turbinas de manera industrial. (UPME, Informe de avance del plan de expansión de generación eléctrica., 2010).

7.4 La turbina de río balsa

Es una turbina de bajo costo, ya que su diseño constructivo es relativamente simple y no requiere de grandes obras civiles para su instalación. Es apropiada para pequeñas potencias. Este tipo de turbina está diseñada para generar electricidad, utilizando solamente la energía cinética de la corriente del agua en los ríos. En la figura 3 se aprecia uno de los posibles diseños, de este tipo de turbina que podría ser usado. Para su funcionamiento se requiere de un sistema de anclaje dentro o por fuera del río, y la disposición del rotor debe estar sobre el flujo de agua; la acción de la energía cinética propia del río, mueve el rotor de la turbina. (APROTEC, 2004).



Figura 3. Un modelo de turbina de río balsa

Otro tipo de turbina de río balsa que se podría emplear, es una adaptación de un rotor de una turbina eólica para ser utilizada en el río. En este caso la potencia que podría ser extraída por este tipo de turbina cumple la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{2} \times K_b \times A \times \rho \times V^3$$

Donde

K_b es el coeficiente de Betz = $16/27 = 0,592$

A es el área en metros cuadrados (m^2)

ρ es la densidad del agua (1000 kg/m^3)

V es la velocidad del río (m/s).

Esta adaptación puede hacerse a partir de dos tipos distintos de turbinas eólicas. De las de eje vertical, o sea aquellas en la que su eje de rotación está perpendicular al flujo de agua; y las de eje horizontal, o las que tienen su eje de rotación en la misma dirección del flujo de agua. Las de eje vertical se emplean cuando se quiere aprovechar al máximo la energía cinética que tenga el agua. Que puede ser en dirección combinada, como por ejemplo en los sistemas de mareas; esta turbina está diseñada de tal forma que sin importar la dirección del flujo, el sentido de rotación es siempre el mismo. Sin importar el tipo de turbina a emplear, el diseño de los álabes, corresponde al mismo empleado para las turbinas eólicas. Vale la pena aclarar que la turbina, según su origen (eólico) va a estar sometida a eventuales esfuerzos, que pueden ser de gran consideración, por lo tanto no son apropiadas para grandes niveles de generación eléctrica.

En el caso de las turbinas de eje horizontal, para determinar el diámetro del rotor se emplean las mismas ecuaciones usadas para diseñar turbinas eólicas, a saber:



$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times C_p \times V^3 \times \eta$$

$$A = (\pi \times d^2 / 4)$$

$$d = \sqrt[3]{(8 \times P / \pi \times \rho \times V \times C_p \times \eta)}$$

Donde:

P es la potencia de diseño (w)

A es el área en metros cuadrados (m²)

ρ es la densidad del agua (1000 kg/m³)

V es la velocidad del río (m/s).

C_p es el coeficiente de potencia (adimensional)

η es la eficiencia del generador (%)

d es el diámetro de la turbina de río (m)

$$N = (60 \times \lambda \times V_D / \pi \times d)$$

$$\lambda = U / V_D$$

Donde

N es la velocidad de giro del rotor (rpm)

d es el diámetro del rotor (m)

λ es la celeridad (adimensional)

U es la velocidad tangencial en el extremo de la pala (m/s)

V_D es la velocidad de diseño (m/s)

En Colombia son prácticamente nulos los estudios sobre este tipo de turbina, que como ya se dijo es una turbina adaptada del diseño eólico a uno hidráulico; existen algunos estudios de este tipo de turbina en Alemania, y en Suramérica en el Perú y en Argentina. (BARAGNER, 1988).

8. Conclusiones

En las zonas no interconectadas de Colombia se presentan las siguientes situaciones:

La densidad poblacional es baja debido a que las comunidades humanas se encuentran aisladas unas de otras

El gran tamaño y caudal de los ríos, además de la baja densidad poblacional impiden que existan condiciones ambientales y geográficas propicias para instalar redes eléctricas

Los terrenos conformados por morichales y esteros, generalmente están cubiertos de agua en época de verano e inundados en época de invierno dificultando labores de ingeniería, y de otras áreas en esas zonas.

A pesar de los planes del gobierno para electrificar las ZNI a partir de los recursos de las regalías del petróleo, no se ha logrado ejecutar, debido, entre otros aspectos, al alto costo de instalación y mantenimiento per capita, en especial por el bajo ingreso económico de sus habitantes.

En la actualidad se emplean como fuente de energía limpia algunas plantas solares que solo cubren las necesidades de iluminación.

Las neveras de gas mantienen la cadena primaria de frío pero son escasas debido al alto costo

Las plantas de gasolina, aunque proveen iluminación y algo de confort para las viviendas, tienen un altísimo costo y por tanto solo son empleadas en situaciones especiales.

Los llanos orientales son una gran despensa alimenticia y sus elementos de producción como la leche, la carne no cuentan con cadenas de frío mínimas para soportar las altas temperaturas de la región. Igualmente productos como la caña de azúcar, plátano, yuca que podrían ser empleados como materias primas para elaboración de productos y generación de empleo se pierden.



COMPES. (2006). Diseñar e implementar un esquema de gestión para la prestación del servicio de energía eléctrica en ZNI. En COMPES, Diseñar e implementar un esquema de gestión para la prestación del servicio de energía eléctrica en ZNI (pág. 189). Bogotá: COMPES.

CONVEVIELLO, M. (2003). Entorno internacional y oportunidades para el desarrollo de las fuentes renovables de energía en América Latina. Santiago de Chile: CEPAL.

CREG. (8 de Febrero de 2000). COMISION DE REGULACION DE ENERGIA Y GAS. Resolución No. 098 . Bogotá, Bogotá, Colombia: CREG.

DA ROSA, A. (2010). Renewable energy processes. Academic Press San Francisco Ca. San Francisco. California: Academic Press. Co.

EL MUNDO. (1 de Septiembre de 2009). <http://www.elmundo.es/elmundo/2009/07/17/sudamerica/1247813749.html>. Recuperado el 4 de Junio de 2010, de <http://www.elmundo.es/elmundo/2009/07/17/sudamerica/1247813749.html>: <http://www.elmundo.es/elmundo/2009/07/17/sudamerica/1247813749.html>

EL TIEMPO. (2001). Colombia Viva. Bogotá: CASA EDITORIAL EL TIEMPO.

FAUNA Y FLORA. (11 de Febrero de 2008). <http://ednayshirley.blogspot.com/2009/11/fauna-y-flora-de-la-region-orinoquia.html>. Recuperado el 4 de Abril de 2010, de <http://ednayshirley.blogspot.com/2009/11/fauna-y-flora-de-la-region-orinoquia.html>: <http://ednayshirley.blogspot.com/2009/11/fauna-y-flora-de-la-region-orinoquia.html>

GALEON. (20 de Noviembre de 2007). <http://regionorinoquia.galeon.com/>. Recuperado el 30 de Marzo de 2010, de <http://regionorinoquia.galeon.com/>: <http://regionorinoquia.galeon.com/>

GET MAP. (2 de Febrero de 2007). [http://es.getamap.net/mapas/colombia/colombia_\(general\)/_rio_guainia/](http://es.getamap.net/mapas/colombia/colombia_(general)/_rio_guainia/). Recuperado el 4 de Junio de 2010, de [http://es.getamap.net/mapas/colombia/colombia_\(general\)/_rio_guainia/](http://es.getamap.net/mapas/colombia/colombia_(general)/_rio_guainia/): [http://es.getamap.net/mapas/colombia/colombia_\(general\)/_rio_guainia/](http://es.getamap.net/mapas/colombia/colombia_(general)/_rio_guainia/)

GIRALDO, H., & SANDOVAL, H. (1999). Guía de estudios de prefactibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas entre 1000 y 10000 Kw. . Bogotá: Universidad Javeriana Tesis.

GOMEZ, J. I. (27 de Mayo de 2008). Revistas Universidad Nacional. Recuperado el 16 de noviembre de 2010, de Revistas Universidad Nacional: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/viewFile/9287/9944>

IPSE. (17 de Octubre de 2009). www.ipse.gov.co. Recuperado el 18 de Mayo de 2010, de www.ipse.gov.co: www.ipse.gov.co

KROCHIN, S., & NOVILLO, M. (2008). Guía de diseño de obras civiles de pequeñas centrales hidroeléctricas. Quito: OLADE.

LA TIERRA. (10 de Octubre de 2006). <http://www.tutiempo.net/Tierra/Colombia/Rio-Guaviare-CO025709.html>. Recuperado el 5 de Abril de 2010, de <http://www.tutiempo.net/Tierra/Colombia/Rio-Guaviare-CO025709.html>: <http://www.tutiempo.net/Tierra/Colombia/Rio-Guaviare-CO025709.html>

Lider comunitario, H. Z. (7 de Febrero de 2011). Entrevista a un lider comunitario de la región de Puerto Lleras Meta, Vereda Veracruz y Chafurral bajo. (M. S. Monrroy, Entrevistador)

MARTINEZ, A. (24 de Noviembre de 2010). Toda Colombia es mi pasión. Recuperado el 14 de Mayo de 2010, de www.todacolombia.com: <http://www.todacolombia.com/vertientescolombia.html>

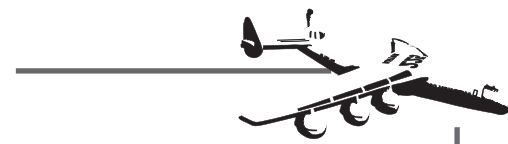


Foto 8. Cañón del río Caquetá. Fuente: <http://picasaweb.google.com/lh/photo/l7O7kqReEs7GprWio-LItDg>. Autor: José Iván Lozada

ORTIZ, R. (2001). Pequeñas centrales hidroeléctricas. Bogotá: Mc Graw Hill.

PARADISE, C. (2009). Colombian Paradise. Viajero , 45.

PLANETA SEDNA. (3 de Junio de 2007). <http://www.portalplanetasedna.com.ar/amazonas.htm>. Recuperado el 8 de Junio de 2010, de <http://www.portalplanetasedna.com.ar/amazonas.htm>: <http://www.portalplanetasedna.com.ar/amazonas.htm>

RAIZ. (27 de Marzo de 2004). <http://www.amazonacolombia.es/Rio-Vaupes/30>. Recuperado el 2 de Mayo de 2010, de <http://www.amazonacolombia.es/Rio-Vaupes/30>: <http://www.amazonacolombia.es/Rio-Vaupes/30>

REGIONES DE COLOMBIA. (20 de Abril de 2006). <http://regionesyarte.galeon.com/regionorinoquia.html>. Recuperado el 1 de Abril de 2010, de <http://regionesyarte.galeon.com/regionorinoquia.html>: <http://regionesyarte.galeon.com/regionorinoquia.html>

REVISTA ANTROIKA. (29 de Enero de 2010). http://www.revistaantropika.com/?page_id=67. Recuperado el 12 de Abril de 2010, de http://www.revistaantropika.com/?page_id=67: http://www.revistaantropika.com/?page_id=67

RIOS DE COLOMBIA. (12 de Julio de 2005). <http://www.reocities.com/gsilvam/hidrografia.htm>. Recuperado el 12 de Abril de 2010, de <http://www.reocities.com/gsilvam/hidrografia.htm>: <http://www.reocities.com/gsilvam/hidrografia.htm>

<http://www.reocities.com/gsilvam/hidrografia.htm>: <http://www.reocities.com/gsilvam/hidrografia.htm>

RUBEN, M. (2005). MICRO CENTRALES HIDROELÉCTRICAS: TECNOLOGÍAS DE REDUCCIÓN DE COSTOS Y POSIBILIDAD DE CONSTRUCCIÓN.

salto, L. t. (s.f.).

TODA COLOMBIA. (13 de Agosto de 2006). <http://www.todacolombia.com/departamentos/arauca.html>. Recuperado el 6 de Abril de 2010, de <http://www.todacolombia.com/departamentos/arauca.html>: <http://www.todacolombia.com/departamentos/arauca.html>

UPME. (2006). Energía renovable: estrategia de desarrollo sostenible en Colombia. XII Seminario de Administración pública (pág. 24). Bogotá: Memorias XII Seminario de Administración pública.

UPME. (2010). Informe de avance del plan de expansión de generación eléctrica. Bogotá: MIN-MINAS Y ENERGÍAS.

WEB EMPRESA. (4 de Diciembre de 2008). <http://www.web-empresa.com.co/Blog/Viaje/rio-amazonas.htm>. Recuperado el 2 de Junio de 2010, de <http://www.web-empresa.com.co/Blog/Viaje/rio-amazonas.htm>: <http://www.web-empresa.com.co/Blog/Viaje/rio-amazonas.htm>

ZUBICARAY, V. (1989). Energía hidroeléctrica turbinas y plantas generadoras. Mexico: Limusa.