

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE



ARTÍCULO CIENTÍFICO

NOMBRE DEL PROYECTO

Generación de un Catálogo de las Centrales Hidroeléctricas del Ecuador sustentado en un SIG.

RESPONSABLE

Ricardo Aguilera Realpe

FECHA DE PRESENTACIÓN

Julio 2013

ANTECEDENTES

En vista de las corrientes privatizadoras impulsadas por las autoridades del Gobierno Central, a finales de 1998 concluyó la vida Institucional del Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) que, a lo largo de 37 años de actividades había edificado el sector eléctrico del Ecuador.

Después de la extinción del INECEL, se crearon empresas de generación eléctrica como: Hidropaute, Hidroagoyán, Hidropucará, Electroguayas, Termopichincha, y una de transmisión; Transelectric, para que continúen gestionando las obras e instalaciones de propiedad del Estado, a través del Fondo de Solidaridad.

Como resultado del nuevo esquema administrativo y de gestión, sobrevino un estancamiento del sector eléctrico ecuatoriano, que se reflejó en la falta de obras de generación, indispensables para cubrir la creciente demanda, que se intentó cubrirla con energía importada desde Colombia y Perú y, principalmente, con la instalación de centrales térmicas, a pesar de los graves inconvenientes económicos y ambientales.

Así se originó la paradoja que, para la generación termoeléctrica se utilice un 30% de diesel, un derivado del petróleo que no se lo refina en el Ecuador y, por consiguiente, se lo tiene que importar a precios del mercado internacional del petróleo, mientras se desaprovechan recursos mucho más económicos y ambientalmente más amigables.

Entre las prioridades actualmente establecidas por el Gobierno Nacional, dentro del Plan Nacional para el Buen vivir, se contempla una profunda modificación de la matriz energética, para reducir la participación del petróleo y sus derivados, y propiciar el uso intensivo de las fuentes renovables de energía primaria, entre las que se destaca la hidroeléctrica. Se ha previsto reducir en 10 puntos porcentuales (de 92% a 82%), la participación del petróleo en la oferta energética, en favor de las fuentes de energía renovable, que se incrementarán de 9 a 24 millones de Barriles Equivalentes de Petróleo (BEP).

La producción de electricidad se la duplicará, al pasar de 13.3 a 26.4 miles de GWh, con una participación del 80% de energía hidroeléctrica, complementada con un 10% de energía renovable.

El sustento legal está provisto por las siguientes disposiciones de la Constitución Política de la República:

Artículo 15: El Estado promoverá, en el sector público y privado, el **uso de tecnologías ambientalmente limpias** y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto....

Artículo 413: El Estado promoverá **la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.**

Entre las estrategias del Plan Nacional para el Buen Vivir se establece que:

“La producción, transferencia y consumo de energía debe orientarse radicalmente a ser ambientalmente sostenible a través del fomento de energías renovables y **eficiencia energética.**”

Las Políticas 4.3 y 5.3 del mismo plan señalan:

“Diversificar la matriz energética nacional, promoviendo **la eficiencia** y una mayor participación de **energías renovables sostenibles**”.

“Propender a la reducción de la vulnerabilidad producida por la **dependencia externa alimentaria y energética**”.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En vista de sus características geográficas particulares, por estar atravesado por dos ramales de la Cordillera de los Andes, el Ecuador es uno de los países con mayor potencial hidroenergético, al disponer de caudales que descienden por los flancos de ambas cordilleras, originados por precipitaciones de las cuencas Pacífica y Atlántica.

Los aprovechamientos hidroeléctricos presentan algunos importantes beneficios como:

- Producen energía limpia.
- Evitan el uso de combustibles fósiles que contaminan el aire y el agua.

- Facilitan el aprovechamiento multipropósito; para generación, riego, control de inundaciones y provisión agua potable.
- Tienen bajos costos de operación y mantenimiento.
- Tienen una duración considerable.

El potencial hidroenergético técnica y económicamente aprovechable en el Ecuador asciende a 24.122 MW, del que se aprovecha solo el 8%; no obstante, la potencia hidroeléctrica instalada en el Ecuador en el año 2010 totaliza 2.215,20 MW, que representa el 47% de la potencia total.

Como un elemento de apoyo para el desarrollo y mejor aprovechamiento de los recursos hidroeléctricos, se necesita disponer de información actualizada y georeferenciada, con las respectivas bases de datos, sobre las características técnicas y el funcionamiento de las presas y embalses que alimentan la generación hidroeléctrica.

La crisis de aprovisionamiento eléctrico de finales de 2009 reveló la fragilidad que origina la disminución de los caudales, impredecible en una época de cambio climático, así como la inconveniente dependencia de las importaciones de energía eléctrica.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente en el Ecuador no existe una fuente de información sistematizada, fidedigna y accesible para las instituciones públicas y privadas interesadas en el potencial y la generación hidroeléctrica.

Un Catálogo de las Centrales Hidroeléctricas del Ecuador, sustentado en la herramienta TIG (Tecnologías de Información Geográfica), como el que se propone desarrollar dentro de la ESPE, sería una herramienta útil para la planificación de nuevos proyectos, a partir de una verificación del comportamiento de los que han venido funcionando desde hace algunos años.

El Catálogo incluirá, básicamente, información sobre: ubicación, elevación, características y dimensiones de las obras construidas; los caudales de operación y los máximos y mínimos registrados, la generación mensual y anual de energía, etc.

La información a incluirse es de gran valor y podrá ser utilizada por las instituciones públicas y privadas interesadas en las actividades de promoción y desarrollo de aprovechamientos hidroeléctricos.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El potencial hídrico del Ecuador continental, evaluado a nivel de cuencas y subcuencas hidrográficas, es del orden de 15.000 m³/s, distribuido en las vertientes: Amazónica y Pacífica, con caudales del 71 y 29%, respectivamente. El área que cubre la Vertiente Amazónica corresponde al 53% de la superficie del País.

Las cuencas que poseen un alto interés hidroenergético, expresado en MW/km, representan el 61,6% del potencial hídrico. Las de mediano interés suman un 21,5%, y las de bajo interés, el 14,1%. Las cuencas sin interés llegan a un 1,8%.

Las cuencas de los ríos Napo y Santiago representan el 44% del potencial hidroeléctrico teórico total.

Los estudios de hidrología que se efectuaron en su momento de cada proyecto hidroeléctrico, permitieron valorar en el País la disponibilidad de una fuente primaria de energía renovable y limpia como es el recurso hídrico, a fin de ser utilizado para la generación de electricidad.

**CLASIFICACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS
POR SU POTENCIAL ESPECÍFICO**

CLASIFICACIÓN	CUENCAS HIDROGRÁFICAS	POTENCIAL ESPECÍFICO (MW/km)
Alto interés	Napo, Pastaza Bajo, Santiago y Aguarico	> 6
Mediano interés	Mayo, Mira, Esmeraldas, S.M. Putumayo, Ceneba y Cayapas	3 a 6
Bajo interés	Curaray, Pastaza Alto, Morona, Cuayas, Babahoyo, Cañar, Jubones, Puyango y Catamayo	1 a 3
Sin interés	Mataje, Carchi, Verde, Muisne, Cojimies, Jama, Chone, Portoviejo, Jipijapa, Guayas (Daule), Zapotal, Taura, Arenillas, Zarumilla, Balao y Tigre.	< 1

Fuente: INECEL, Plan Maestro de Electrificación del Ecuador 1989-2000, 1989.

POTENCIA Y ENERGIA ELECTRICA EN EL ECUADOR

POTENCIA (Mw)	2008	%	2009	%
Centrales Térmicas	2.498	48	2.777	50,6
Centrales Hidráulicas	2.052	39,4	2.059	37,51
Importación	650	12,5	650	11,89
Total	5.2		5.486	

ENERGÍA (Gwh)	2008	%	2009	%
Centrales Térmicas	7.313	38,3	*9,126	47
Centrales Hidráulicas	11.293	59,1	9,222	47
Importación	500	2,6	1,12	6
Total	19.106		19,468	

- **Incluye 2,648 Gwh de autogeneradores**
- **P. Pauta 4,788 Gwh (51.9%)**

FUENTE: CONELEC, Capítulo 2 Plan Maestro de Electrificación del Ecuador, 2009-2020.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Implementar un Sistema de Información Geográfica SIG, que consolide y sintetice toda la información técnica relacionada con los aprovechamientos hidroeléctricos construidos hasta el 2011 en el Ecuador, para verificar el equipamiento disponible y el funcionamiento del Sistema Eléctrico.

Objetivos Específicos

- Recopilar la información disponible sobre las características y operación de los aprovechamientos hidroeléctricos públicos y privados.
- Analizar y estandarizar la información existente sobre los aprovechamientos hidroeléctricos.
- Generar un Catálogo de los aprovechamientos hidroeléctricos del Ecuador, con base en las especificaciones del Catálogo de Objetos del IGM.
- Estructurar y Catalogar toda la información geográfica.
- Elaborar una base de datos de los complejos hidroeléctricos, que comprende las siguientes obras: presas, embalses, obras de captación, casas de maquinas, potencia nominal, potencia efectiva, energía generada y otros.

PRÓLOGO

Se denomina Catálogo de las Centrales Hidroeléctricas del Ecuador a la herramienta que se emplea para la publicación de información actual y precisa en el sector eléctrico, dicha información incluye las características técnicas, operacionales y datos históricos de las Centrales Hidroeléctricas del Ecuador en una base de datos que se halla vinculada a una imagen georeferenciada en la cual se visualiza la zona de interés donde se hallará o se halla cada central. La función del Catálogo de las Centrales Hidroeléctricas del Ecuador es la de brindar información de forma gratuita, de fácil acceso y actualizada para así conocer cómo se halla el sector eléctrico de nuestro país y los planes que se ejecutan, y así brindar a los usuarios la información que ellos la necesiten en su momento.

La plataforma en la que se ejecuta el Catálogo de las Centrales Hidroeléctricas es la herramienta GIS, esta ofrece una agrupación de información especial junto a elementos espaciales existentes, al tener este tipo de vínculo la búsqueda de información se vuelve extremadamente fácil ya que se puede reconocer visualmente un objeto existente y conocer las características del mismo. Una de las principales ventajas existentes hoy en día es el fácil acceso de información empleando el Internet, así se podrá de forma sencilla entregar resultados a personas que requieren características del sector eléctrico o a fines, mediante el uso de un aplicativo de la herramienta GIS el cual es Web Map Service (WMS), con el cual se podrá generar una plataforma de fácil acceso vía internet que permitirá acceder a datos ya consultados y vinculados a una imagen en la cual se visualizara el entorno de investigación e interés.

Finalmente el alcance del proyecto es la integración de datos generados por las Empresas Generadoras, Distribuidoras y Transmisoras de energía, mediante la implantación de un sistema de información geográfico al cual se le denomina Catálogo de las Centrales Hidroeléctricas del Ecuador mediante una herramienta SIG, que concebido, diseñado e implementado acorde con procedimientos técnicos adecuados, permite ingresar, almacenar, desplegar y manejar los datos distribuidos espacialmente, a fin de convertirlos en información de uso propio, así como para las empresas del sector eléctrico y para otros sectores a través del Internet.

Principales componentes de una Central Hidroeléctrica

La Presa

El primer elemento que encontramos en una central hidroeléctrica es la presa o azud, que se encarga de detener el flujo del río y almacenar el agua, o simplemente desvía los caudales hacia la Casa de Máquinas a través de las obras de conducción (túneles, canales).

Las presas se clasifican por el material empleado en su construcción en:

- Presa de tierra
- Presa de enrocamiento
- Presa de hormigón

Embalse

Es la acumulación de agua producida por una obstrucción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce. La obstrucción del cauce puede ocurrir por causas naturales como, por ejemplo, el derrumbe de una ladera en un tramo estrecho del río o arroyo, la acumulación de placas de hielo o las construcciones hechas por los castores, y por obras construidas por el hombre para tal fin, como son las presas.

Los Vertederos

Los vertederos son elementos vitales de la presa, que tienen como función liberar el exceso de agua acumulada en el embalse, y devolverla al cauce natural sin que pase por la Casa de Máquinas.

Para evitar que el agua pueda producir erosión al caer desde gran altura, los vertederos se diseñan para que la energía se disipe en un cuenco que se encuentra a pie de presa.

Para conseguir que el agua salga por los vertederos existen grandes compuertas de acero, que se pueden abrir o cerrar a voluntad, según demande de la situación.

Tomas de agua

Las tomas de agua son construcciones que permiten captar el líquido para llevarlo hasta las máquinas, por medio de túneles, canales o tuberías.

Las tomas de agua de las que parten varios conductos hacia las tuberías, se hallan en la pared anterior de la presa que entra en contacto con el agua embalsada. Esta toma además de unas compuertas para regular la cantidad de agua que llega a las turbinas, poseen unas rejillas metálicas que impiden que elementos extraños como troncos, ramas, etc. puedan llegar a los álabes y producir desperfectos.

Casa de Máquinas

Es la construcción en donde se ubican las máquinas (turbinas, alternadores) y los elementos de regulación y comando.

Conclusiones

- Para la construcción del Catálogo de las Centrales Hidroeléctricas del Ecuador es altamente imprescindible que toda la información recogida y que se desea presentar sea de alta veracidad, pues la misma será entregada a un sector

que requiere información actual, al igual que el sistema que se estructuró sea altamente amigable con el usuario final.

- La base de datos alfanumérica se desarrolló plenamente para que los datos de la misma sea información que evitará en gran medida la pérdida de tiempo en consultas innecesarias y para el usuario final dará a conocer los datos relevantes de cada proyecto a presentarse dentro del Catálogo de las Centrales Hidroeléctricas del Ecuador.
- Para la generación de la base de datos tanto gráfica como alfanumérica, se vio que el uso de la plataforma académica de la Espe ArcGis 9.x, es muy amigable, esto permite que la vinculación de información se vuelva sencilla y coherente, y las extensiones que se generan son altamente compatibles con el software de despliegue de información misma que es "GeoServer".
- La topología ha sido durante mucho tiempo un requisito clave SIG para la administración y la integridad de los datos. En general, un modelo de datos topológico administra relaciones espaciales representando objetos espaciales (entidades de punto, línea y área); por consiguiente la topología garantizó la calidad de los datos de las relaciones espaciales y facilitó la compilación de los datos. La topología también se utilizó para analizar relaciones espaciales en muchas situaciones, tales como disolver los límites entre polígonos adyacentes con los mismos valores de atributo o atravesar una red de elementos en un gráfico topológico.
- El uso de plataformas de código abierto facilitan altamente el desarrollo de herramientas de consulta, toma de decisiones, presentación de datos y visualización de los mismos, con esto se logra un mayor conocimiento y mejoramiento de las mismas, así se brinda la posibilidad del desarrollo tanto de nuevos programas o herramientas y software de código abierto.
- El desarrollo del Catálogo de las Centrales Hidroeléctricas del Ecuador brinda la característica de ser visualizado en cualquier navegador disponible, la característica de ser de fácil uso y altamente amigable con el usuario final, esto lo vuelve altamente atractivo pues no presenta ningún inconveniente al momento de su acceso y despliegue de información.
- El empleo de software de libre acceso permite que los costos de desarrollo de este proyecto hayan sido altamente económicos, ya que la creación del mismo fue generado bajo la plataforma de "GeoServer" misma que es de libre acceso y que busca la publicación de información geoespacial de alta calidad y gratuita para los usuarios finales.
- El Catálogo de las Centrales Hidroeléctricas del Ecuador cumple con su finalidad principal, la cual es la entrega de información actualizada, veraz y adecuada para las necesidades de los usuarios, mismos que buscan información puntual de cada Central Hidroeléctrica del Ecuador.
- La mayor producción de energía eléctrica a nivel nacional en el 2011, también resultó en una mayor oferta de energía para Servicio Público, que comparado con el 2010, tuvo un incremento del 5,92 % equivalente a 1111,22 GWh.
- La energía generada no disponible para servicio público, corresponde a la energía utilizada internamente para procesos productivos y de explotación (es el total de la energía producida por las empresas Autogeneradoras).
- Con la construcción de varias centrales de generación hidroeléctrica para incrementar la capacidad instalada en 3.000 MW aproximadamente, se mejorará la distribución y sus indicadores, entre ellos: disminución de pérdidas, eficiencia energética y calidad del servicio. Se concibe la incorporación de la red 500 kV en el

sistema de transmisión y se vislumbra la integración eléctrica regional de toda la región andina.

- El 86,3% de la capacidad instalada en centrales hidroeléctricas está concentrada en seis grandes centrales: Paute (1.100 MW); San Francisco (230 MW); Marcel Laniado (213 MW); Mazar (160 MW); Agoyán (156 MW); y, Pucará (73 MW).

Recomendaciones

- Para la generación de una adecuada base de datos se debe revisar la información recolectada, y realizar varios análisis a la misma como calidad de información, que tan actual es la misma, que contiene dicha información y el alcance que tiene, para ser adjuntada o retirada, pues esto aumenta el interés del usuario y reduce tiempo de búsqueda y análisis de dicha información.
- Dar a conocer una mayor cantidad de elementos y herramientas dentro de ArcGis, tanto en edición como modelamiento, así el momento de entregar la imagen del proyecto, esta contendrá excelente características y se podrá visualizar mayores y mejores detalles, al igual que la base de datos alfanumérica, se podrá contener todos los datos necesarios y puntuales.
- Este tipo de herramientas de diseño y presentación geográfica no se hallan del todo conocido en el Ecuador, es altamente aconsejable indicar que se deberían generar espacios para la enseñanza de la utilidad y manejo de estos programas, así el desarrollo de los mismos tendrá un mejor alcance, prestando mayores soluciones a usuarios finales.
- Generar aplicaciones adicionales dentro del Catálogo de las Centrales Hidroeléctricas del Ecuador, según necesidades que se puedan presentar para brindar mejores y mayores facilidades a un usuario final.
- Crear espacios a nivel nacional que permitan ampliar el conocimiento del uso de herramientas como Software libre, incluyendo en los mismos a personas capacitadas que conozcan los alcances que se puede tener con dichos instrumentos y la enseñanza del uso de los mismos para tener un número mayor de profesionales con conocimiento en este campo.
- Reducir en la medida de lo posible, la incorporación al sistema eléctrico de generadores térmicos que pueden producir gas de efecto invernadero y no depender del abastecimiento por las interconexiones internacionales. Las transferencias se establecerán para optimizar la producción.
- Impulsar el desarrollo efectivo de las energías renovables con miras a promover la sustitución de combustibles fósiles.

BIBLIOGRAFÍA

- CONELEC, Capitulo 2 Plan Maestro de Electrificación del Ecuador, 2009-2020.
- CONELEC, Capitulo 6 Plan de extensión de la Generación.
- Hidroeléctrica COCA CODO SINCLAIR EP, Energía limpia para el Ecuador.
<http://www.cocasinclair.com>
- CELEC EP, Unidad de negocio Electroguayas
- CELEC EP, Unidad de negocio Termoesmeraldas
- CELEC EP, Unidad de negocio Termopichincha
- CELEC EP, Unidad de negocio Transelectric