

Procesos en el Desarrollo de Proyectos de Generación Hidroeléctrica Basados en Pequeños Aprovechamientos

César A. Palacio, Andrés E. Díez

Facultad IEE; Universidad Pontificia Bolivariana; Cir. 1 #70-01, B11, Medellín, Colombia.

cesaraugusto.palacio@alfa.upb.edu.co

Resumen: Este documento presenta una gran recopilación de elementos que permiten obtener una perspectiva global de los procesos ejecutados durante el desarrollo de un proyecto de generación hidroeléctrica basado en un pequeño aprovechamiento en Colombia. Para llegar a dicha perspectiva inicialmente se realiza una contextualización sobre el tema de la generación y el panorama nacional; y posteriormente se explican los procesos y etapas del proyecto.
Copyright © UPB 2015

Palabras clave: Generación hidroeléctrica, energía, proyectos, procesos.

Abstract: This paper shows a global view about the process developed in a hydroelectric power generation project based in small water resources in Colombia. To get this view first of all a contextualization was done about power generation and the national scene. Later the process and stages of the project are explained.

Keywords: Hydroelectric generation, power, project, process.

s 2015-01-12

1. INTRODUCCIÓN

El campo de la generación hidroeléctrica a nivel mundial se encuentra seccionado. Zonas como Europa, Norteamérica, India y China donde el recurso agua destinado a la producción de energía ya ha sido explotado al máximo se han convertido en los grandes proveedores de equipos de generación del resto del mundo que se encuentra en pleno desarrollo de su potencial. Debido a su geografía montañosa nutrida de numerosos ríos, Colombia figura entre los países con mayor potencial y más atractivos para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos.

Ante esta gran oportunidad de inversión que existe, en el país se vienen desarrollando proyectos de diferentes magnitudes, en cabeza de inversionistas extranjeros, grandes grupos empresariales locales y nuevas sociedades que pretenden incursionar en el mercado eléctrico. Este texto pretende orientar de manera general a estas nuevas empresas que desean aprovechar esta oportunidad y promover proyectos de construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL

Según la organización latinoamericana de energía (OLADE), una Pequeña Central Hidroeléctrica - PCH es una instalación donde se utiliza la energía hidráulica para generar reducidas cantidades de electricidad, por medio de uno o más grupos de conjuntos turbina/generador. [1]

2.1. Obras de Captación

Se denominan obras de toma o de captación a toda estructura hidráulica construida sobre el cauce de un río, con el fin de captar o de derivar el agua necesaria, que para los proyectos de PCH's será utilizada en la generación de energía; impidiendo que el caudal de diseño sea excedido durante las crecientes y evitando que entren materiales sólidos como ramas o piedras que pueden causar obstrucciones posteriores. [1]

2.2. Conducción

Las obras de conducción o la conducción a flujo libre, como su nombre lo expresa tienen por objeto conducir el agua entre dos puntos del proyecto hidroeléctrico. Se hace referencia a la captación o bocatoma como punto inicial y a la cámara de válvulas o pozo de presión como punto final.

Existen dos tipos de conducciones, las abiertas o de régimen de flujo libre que operan a presión atmosférica y las cerradas o de flujo forzado que operan presurizadas con presiones mayores a la atmosférica.

Entre las primeras se distinguen los denominados canales de conducción o de derivación.

Entre los segundos se distinguen los túneles y las denominadas galerías que se diferencian por su forma y la dimensión de su sección. Los túneles presentan mayores dimensiones que las galerías.

Las pendientes son muy bajas con el objeto de obtener pérdidas hidráulicas mínimas.

2.3. Tanque de Presión

Es una estructura, una cámara que comunica un sistema de baja presión como la conducción con uno de alta presión. [2]

Las principales funciones del tanque de carga o presión son:

- Permitir la conexión entre el sistema de conducción y la tubería de presión.
- Producir la sedimentación y eliminación de materiales sólidos que vienen por la tubería de conducción.
- Impedir la entrada a la tubería de presión de materiales sólidos, de arrastre y flotantes.
- Desalojar el exceso de agua en las horas en que la cantidad consumida por las turbinas es inferior al caudal de diseño.
- Crear un volumen de reserva de agua que permita satisfacer las necesidades de las turbinas, durante los aumentos bruscos de demanda.
- Mantener sobre la tubería de carga una altura de agua suficiente para evitar la entrada de aire a la misma. [1]

2.4. Cámara de Válvulas

Al final de la conducción, se dispone de un recinto en el que se aloja una válvula de protección de la tubería de presión, válvula que generalmente es del tipo mariposa, dado su característica de cierre

rápido comparado con otro tipo de válvula, así como la posibilidad de operar (cerrar) con flujo.

2.5. Tubería de Presión

También denominadas tuberías forzadas, las tuberías de presión tienen como objeto conducir el agua desde el punto en el cual se tiene una gran energía potencial, desde el embalse en algunos casos, o desde el tramo final del túnel de conducción en otros, o desde el denominado tanque de presión, hasta la casa de máquinas, más precisamente hasta la turbina.

Se presenta una transformación energética en la tubería de presión, se disminuye la energía potencial del agua a medida que se desciende al mismo tiempo se aumenta la energía cinética y de presión. [3]

2.6. Casa de Máquinas

Es la estructura que aloja todo el equipo electromecánico, en los que se transforma la energía cinética del agua en energía mecánica y posteriormente en eléctrica. Una normalización del diseño de la casa de máquinas se puede obtener en función de la posición del eje del grupo turbina generador. Este puede ser horizontal o vertical. En proyectos para pequeñas centrales hidroeléctricas, el grupo de eje horizontal ofrece más facilidades para su montaje y mantenimiento, por tal motivo es el más usado.

Dentro del equipo alojado en la casa de máquinas se destaca la turbina, el generador y el equipo de subestación.

2.7. Turbina Hidráulica

Una turbina hidráulica es una turbomáquina hidráulica, en la cual el trabajo mecánico proviene de la variación de la cantidad de movimiento del agua al fluir a través de un sistema de alabes rotativos. En este sistema, denominado de rodete, puede ocurrir una simple desviación del flujo de agua o, en otros casos, una desviación y una aceleración de este flujo. [1]

2.8. Generador

El alternador o generador es una máquina rotativa que recibe energía mecánica de la turbina y la transforma en eléctrica. Este equipo se caracteriza porque está formado por un estator fijo y un rotor conectado al eje de la turbina. [2]

En los generadores se originan campos rotativos, si el rotor tiene la misma velocidad de giro que el campo rotativo del estator, se dice que la máquina es síncrona. Si, por el contrario, el rotor tiene una velocidad de giro mayor o menos que dicho campo rotativo, la máquina se llama asíncrona. Ambos tipos de generadores son utilizados en PCH's a nivel mundial, sin embargo el sincrónico es empleado con mayor frecuencia.

2.9. Equipo de Subestación

Las pequeñas centrales hidroeléctricas tienen la posibilidad de despachar su energía generada mediante la conexión con el sistema de transmisión nacional (STN), un sistema de transmisión regional (STR), un sistema de distribución local (STD) o de manera aislada.

En las PCH's esta conexión es económicamente viable hasta tensiones máximo de 110 kV y necesita de ciertos equipos de subestación para su correcta operación. Entre estos equipos encontramos los siguientes:

- Transformador de potencia o de unidad
- Interruptores de potencia
- Seccionadores
- Cuchillas de puesta a tierra
- Sistema de protección contra sobretensiones
- Transformadores de potencial y de corriente para medición
- Sistema de protecciones
- Sistema de supervisión y control
- Sistema de comunicaciones:
- Servicios auxiliares

3. PANORAMA NACIONAL

El contenido de este capítulo brinda una idea general del panorama hidroeléctrico del país. Se presenta una breve contextualización sobre el modelo del mercado de electricidad colombiano, la composición del mismo, la oferta, la demanda y otras variables de interés. También se aborda el plan de expansión de referencia a generación, el cual ofrece una idea del futuro de Colombia en cuanto al sector eléctrico y se profundiza en el registro de proyectos ante la UPME.

En cuanto a la oferta se destaca que según los datos del sistema de información de XM en diciembre del año 2014 el Sistema Interconectado Nacional – SIN contaba con 14,559 MW instalados, lo que representa un crecimiento del 57.32% respecto a la capacidad instalada del mes de diciembre del año 1993.

Las centrales con mayor participación en parque de generación colombiano son las hidroeléctricas, las cuales alcanzaron 10,315 MW (67%), seguido por las centrales térmicas que suman 4,402 MW (28%). A pesar que estas tecnologías representan el 95% de la capacidad total instalada, es indispensable considerar el aporte de las centrales menores y plantas de cogeneración. Se destaca que la capacidad instalada exclusivamente en PCH's es de 580.89 MW, equivalente al 3.75% de la capacidad total instalada en todo el SIN. [4]

3.1. Balance del Registro

Según el informe de proyectos inscritos ante la UPME actualizado el 15 de septiembre de 2014 existen 103 proyectos de generación que cuentan con certificado de registro vigente, los cuales suman una capacidad instalada estimada de 4974.4 MW. En la Tabla 3 se agrupan los proyectos registrados en tres rangos de capacidad, allí se puede observar gran participación (en número de registros) de proyectos inferiores a 20 MW, los cuales representan más del 72% del total, reflejando el interés de los promotores por desarrollar plantas menores. [4]

4. PROCESOS Y ACTIVIDADES GENERALES

Se presenta una recopilación de los procesos y actividades generales que requieren ser ejecutadas durante los procesos identificados como principales a lo largo de todo un proyecto de generación basado en un pequeño aprovechamiento hídrico en Colombia. Dichos procesos aplican principalmente para proyectos a filo de agua que planean operar conectados al Sistema Interconectado Nacional – SIN y comercializar su energía..

Las actividades identificadas se agruparon dentro de los siguientes procesos:

- Proceso de Viabilidad Técnico-Económica
- Proceso de Licenciamiento Ambiental
- Proceso de Viabilidad de la Conexión
- Proceso de Construcción
- Proceso de Entrada en Operación Comercial

A partir de esta recopilación de procesos se permite obtener una visión macro de un proyecto de generación con las características mencionadas, de manera resumida y en un lenguaje entendible para cualquier profesional con conocimientos básicos en el desarrollo de proyectos de infraestructura o en alguna de las ingenierías afines (eléctrica, civil, mecánica, ambiental, entre otras).

5. ETAPAS DEL PROYECTO

En el capítulo anterior se presentaron los principales procesos que deben ser desarrollados durante la ejecución de un proyecto hidroeléctrico basado en un pequeño aprovechamiento en Colombia. A partir de los procesos presentados es posible obtener una visión global de un proyecto de este tipo, la cual quedará ilustrada durante el progreso de este capítulo en el cual se relacionan los procesos mencionados anteriormente y se identifican las etapas del proyecto:

- Identificación
- Prefactibilidad
- Factibilidad
- Diseño
- Construcción
- Operación
- Abandono.

5.1. Identificación

Esta es la etapa inicial del proyecto, la cual tiene como punto de partida la decisión del promotor de estudiar la posibilidad de desarrollar un proyecto hidroeléctrico en una cuenca seleccionada. Su duración es corta y la inversión que requiere baja en comparación con las instancias posteriores.

En la línea de desarrollo socio – ambiental la actividad más importante que debe ser desarrollada es la obtención del permiso

de estudio del recurso natural, mientras que a nivel técnico – económico el objetivo principal es obtener uno o varios esquemas del aprovechamiento y realizar una estimación inicial energética y financiera.

5.2. Prefactibilidad

Una vez obtenido el permiso de estudio que otorga exclusividad al promotor para estudiar el potencial del proyecto, se inicia la etapa de prefactibilidad. Esta etapa se caracteriza por el desarrollo del Diagnóstico Ambiental de Alternativas -DAA (en caso de ser exigido) y por la elaboración de esquemas y diseños básicos del aprovechamiento, además de un nuevo análisis energético y financiero inicial que le brinda al promotor un acercamiento a la magnitud de la inversión necesaria.

Finaliza con la aprobación del esquema del proyecto por parte de la autoridad ambiental competente y la obtención de los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA en la etapa siguiente.

5.3. Factibilidad

La etapa de factibilidad es la etapa durante la cual se determina con certeza que el proyecto es viable a nivel ambiental, social, técnico y económico.

Durante esta etapa se desarrolla y evalúa el EIA, el cual permite la obtención de la Licencia Ambiental del proyecto, la cual garantiza la viabilidad socio – ambiental de este.

A nivel técnico, la obtención del concepto aprobatorio de la conexión brinda la viabilidad en lo que respecta a aspectos eléctricos, mientras que el planteamiento del esquema definitivo del proyecto y la realización de diseños avanzados determinan la viabilidad en cuanto a la parte civil.

En esta etapa también se realiza un análisis energético y financiero con el fin de obtener una actualización del realizado durante la etapa de prefactibilidad incorporando nuevos valores que permitan obtener una TIR con una menor cantidad de variables supuestas.

5.4. Diseño

Durante las etapas de prefactibilidad y factibilidad se realizan diversos diseños de las obras civiles con el objetivo de obtener la viabilidad ambiental y técnica del proyecto. En la etapa de diseño se realizan los mismos diseños de las obras civiles pero con un grado de detalle mucho mayor ya que su objetivo es la construcción.

Esta etapa puede quedar inmersa en la etapa de factibilidad en caso tal que el promotor del proyecto decida realizar los diseños para construcción de las obras civiles en esta instancia. Elaborar estos diseños implica una gran inversión, especialmente debido al levantamiento topográfico que debe ser realizado, y un riesgo al no poseer la Licencia Ambiental. Sin embargo, tomar esta decisión puede optimizar la duración del proyecto permitiéndole al promotor entrar en operación mucho más rápido.

5.5. Construcción

La etapa de construcción del proyecto es la que implica las mayores inversiones y dependiendo de la magnitud de este puede ser la más extensa. Se caracteriza por la gran cantidad de contratistas que participan activamente en las obras y por la labor de integración que debe realizar el promotor del proyecto.

Inicia con la adquisición de predios y propiedades necesarios para la construcción de las obras del proyecto y con los procesos licitatorios para elegir a los principales contratistas y proveedores.

A nivel ambiental se ejecutan las obligaciones y planes exigidos en la Licencia Ambiental, tales como el plan de manejo ambiental, el plan de supervisión y monitoreo y el plan de inversión del 1%.

En esta etapa el promotor debe realizar toda la coordinación entre el operador red, el CND y el proveedor de los equipos electromecánicos para dar cumplimiento a los requisitos exigidos por la regulación colombiana y garantizar el ingreso del proyecto al MEM.

La etapa de construcción finaliza con la entrega a satisfacción de todas las obras, la respectiva documentación “as built” y la puesta en servicio de la PCH.

5.6. Operación

Finalizadas las pruebas de puesta en servicio del proyecto y luego de cumplir todos los requisitos exigidos por el operador de red, el

CND y la regulación colombiana, el proyecto se declara en operación comercial empezando así a generar energía.

La vida útil de una PCH o el periodo de operación dependerá de la correcta operación de la misma y del cumplimiento de los planes de mantenimiento recomendados por los fabricantes de los equipos. Idealmente comprende como mínimo un periodo de 25 años, sin embargo puede extenderse a medida que se realizan modernizaciones a los equipos (overhaul) y a las obras llegando incluso a duplicar este periodo.

5.7. Abandono

Cuando el proyecto finaliza su etapa de operación debido a que los equipos y/o obras civiles entran en obsolescencia o debido a decisiones administrativas o externas se deberá ejecutar el plan de abandono. La ejecución de dicho plan contribuirá a evitar los impactos adversos al ambiente que pudieran generar las actividades del proyecto durante el proceso de abandono de las diferentes locaciones. El plan buscará preservar y/o recuperar las condiciones del entorno de tal manera que las áreas intervenidas preserven o recuperen las características más cercanas a las existentes, antes del desarrollo del proyecto.

6. POTENCIAL

El trabajo realizado tiene como principal aplicación la fundamentación y capacitación de nuevos promotores de proyectos de generación hidroeléctrica basados en pequeños

aprovechamientos. Según esta aplicación puede ayudar a fortalecer el sector energético nacional cuyo desarrollo es directamente proporcional al avance económico y social del país.

7. CONCLUSIONES

Se verificó que el desarrollo de proyectos hidroeléctricos basados en pequeños aprovechamientos en Colombia implica grandes procesos a nivel social, ambiental, técnico y económico. Entre estos procesos los identificados como de mayor importancia se encuentran el proceso de obtención de la viabilidad técnico – económica, la obtención de la Licencia Ambiental, el proceso de obtención de la viabilidad de la conexión, el proceso de construcción y el de la gestión necesaria para la declaración en operación comercial del proyecto.

Se observó que el proceso de obtención de la Licencia Ambiental proporciona la viabilidad socio – ambiental del proyecto. Requiere la elaboración de estudios de un alto nivel de ingeniería tales como el Diagnóstico Ambiental de Alternativas - DAA y el Estudio de Impacto Ambiental - EIA.

Análogamente se identificó que la viabilidad a nivel técnico - económica del proyecto se obtiene al definir el esquema general del aprovechamiento en el cual se detalle la ubicación geográfica exacta de cada una de las obras civiles más importantes.

De manera complementaria, se reconoció que el proyecto requiere que se determine la viabilidad de la conexión al SIN. En este proceso participan el promotor, el operador de la red a la cual este

se pretenda conectar el proyecto, la UPME y el consultor encargado de la elaboración del estudio de conexión. Dicho estudio es la actividad más importante del proceso y requiere altos conocimientos en ingeniería eléctrica acompañados de análisis eléctricos y energéticos realizados en diversas herramientas computacionales especializadas. Como resultado del proceso, el documento que se otorga y que certifica la viabilidad de la conexión es el concepto aprobatorio emitido por la UPME.

Adicionalmente, se observó la viabilidad a nivel económico y financiero se obtiene al calcular la TIR deseada del proyecto a partir de todos los costos de inversión y de los ingresos del proyecto en la etapa de operación. Con esta información el promotor del proyecto tiene los recursos necesarios para buscar socios inversionistas o financiación externa en caso de no poseer el capital necesario para la construcción.

Se analizó que la construcción de un proyecto hidroeléctrico es la etapa en la cual se realiza la mayor inversión y requiere por parte del promotor del proyecto la ejecución de labores de integración procurando la correcta administración de los recursos y permitiendo llevar a cabo de manera coordinada la participación de los distintos contratistas y proveedores.

Se determinó que durante las fases finales de la etapa de construcción se deben desarrollar todas las actividades necesarias para cumplir con los requisitos exigidos por la regulación colombiana, el operador de red y el CND, previos a la declaración

de la entrada en operación comercial del proyecto garantizando el ingreso de este al mercado de energía mayorista.

Se observó que una vez el proyecto de generación entra en operación comercial, el promotor adquiere diversas obligaciones, entre las cuales se destacan a nivel ambiental la ejecución del plan de manejo ambiental en la etapa de operación y a nivel técnico el desarrollo de planes de mantenimiento que prolonguen la vida útil de la PCH.

Se logró obtener una visión global del desarrollo de un proyecto de generación hidroeléctrica basado en un pequeño aprovechamiento.

AGRADECIMIENTO

Al personal de las empresas Grupo Elemental y Latinco por su asesoría en el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Instituto de Ciencias Nucleares y Alternativas, *Guía Para el Diseño de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.pdf*. Santafé de Bogotá, 1997.
- [2] J. H. Diego Mora, “Guía Para Estudios De Prefactibilidad De Pequeñas Centrales Hidroeléctricas Como Parte De Sistemas Híbridos,” Pontificia Universidad Javeriana, 2004.
- [3] I. S. Monsalve, “La Tubería de Presión.” Universidad de Antioquia, Medellín, pp. 1–7, 2007.
- [4] UPME, “Registro de Proyectos de Generación,” 2014. [Online]. Available: <http://www.siel.gov.co/Inicio/Generaci%F3n/Inscripci%F3n/proyectosdeGeneraci%F3n/tabid/113/Default.aspx>.

AUTORES



César A. PALACIO RESTREPO, nacido el 5 de febrero de 1992, realizó sus estudios de pregrado en ingeniería eléctrica en la Universidad Pontificia Bolivariana.

Realizó práctica profesional en la empresa Interconexión Eléctrica – ISA en la Dirección Gestión Mantenimiento durante el segundo semestre del año 2013. Desde inicios del año 2014 pertenece a la empresa consultora y promotora de proyectos hidroeléctricos Grupo Elemental S.A.S.



Andrés E. DÍEZ RESTREPO, Ingeniero Electricista de la Universidad Pontificia Bolivariana - Máster en ingeniería de la UPB en 2005.

Doctor en Ingeniería de la UPB en 2010 con tesis Estrategia para la electrificación del transporte en Colombia, en convenio con la Universidad de Ciencias Aplicadas de

Kempton, Alemania, y dirigida por el Profesor-Doctor Helmuth Biechl.

Docente ocasional Universidad Nacional de Colombia 2006-2009
Docente-Investigador de pregrado y posgrado de la UPB desde 2002