

ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD PARA DESARROLLO DE PROYECTOS DE PCH'S EN COLOMBIA BASADOS EN LA NORMATIVIDAD VIGENTE, LA LEY 1715 Y EL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO, PROYECTO RÍO CLARO, JARDÍN- ANTIOQUIA

Catalina TORO¹, Andrés M, GARCIA²

Universidad Pontificia Bolivariana; Cir. 1 70-01, Bloque 11, Medellín, Colombia.

catool.05@gmail.com, amaurogarcia@yahoo.es

Resumen: El presente proyecto está enfocado en la investigación de la actual normatividad, alternativas y aspectos técnicos referentes al estudio de factibilidad de proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas en Colombia. Adicional a esto, se realiza un estudio de factibilidad de un caso real, en donde se aplican muchos de los elementos anteriormente encontrados. *Copyright ©UPB 2016*

Palabras clave: Pequeñas centrales hidroeléctricas, Estudios de conexión, PCH, MDL.

Abstract: The following research is about the existing regulation, alternatives and technical aspects regarding the feasibility of small hydroelectric centrals in Colombia. Moreover, a feasibility study of a real case in which different elements are applied is shown. *Copyright ©UPB 2016*

Keywords: Small Hydro Power, SHP, CMD.

1. INTRODUCCIÓN

Se presenta en forma resumida y de manera práctica, la investigación y la aplicación de la normatividad vigente, la reciente Ley 1715, el mecanismo de desarrollo limpio y los estudios de factibilidad del proyecto de la PCH río Claro ubicado en el Municipio de Jardín en el departamento de Antioquia (Colombia)

El objetivo es investigar y aplicar las actuales alternativas para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos a pequeña escala, mediante la revisión de la actual normatividad, la forma de comercialización de energía, la construcción de proyectos y el desarrollo de un estudio de factibilidad para un caso de estudio, esto con el fin de determinar la viabilidad de estos proyectos como una alternativa de energía limpia y una solución de energía a las zonas no interconectadas. Los objetivos específicos asociados son:

- Investigar y recopilar el actual marco legal que regula, estimula e incentiva el desarrollo de proyectos hidroeléctricos de pequeña escala en Colombia.
- Identificar los procesos, las herramientas y los cálculos para el desarrollo, diseño y estudio de factibilidad de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas
- Presentar los requerimientos y diseños básicos para implantar un caso de estudio de un proyecto hidroeléctrico en el Municipio de Jardín – Antioquia (Colombia) con capacidad inferior a 4 MW, conforme a la normatividad y elementos logrados durante la investigación.

- Realizar el estudio de conexión eléctrica del proyecto PCH Río Claro – Jardín Antioquia, al sistema de transmisión nacional (STM) y definir la alternativa de conexión óptima, mediante el uso de modelos y simulaciones.

2. ETAPAS DE PROYECTOS DE PCH'S

Los niveles de estudio que se requieren para la realización de una pequeña central hidroeléctrica son:

- Reconocimiento: Está orientado a visitar la población implicada y los lugares donde se estima la construcción de las obras.
- Prefactibilidad: En esta etapa se evalúa el potencial de todo el lugar, buscando entre diferentes alternativas del proyecto la más atractiva de acuerdo a una evaluación técnica y económica. Se realizan los estudios topográficos, geológicos, hidrológicos, ambiental, entre otros.
- Factibilidad: Su objetivo principal es definir dentro de este estudio si el proyecto es técnica, económica, financiera y ambientalmente factible, además este estudio permite tomar la decisión de si se desarrolla o no un proyecto.
- Diseño: Cuando se define la mejor alternativa desde el punto de vista técnico y económico se dimensionan las

diferentes obras del proyecto. Estos diseños deben cumplir con las exigencias de estabilidad, durabilidad, y resistencia.

- **Construcción:** Se inicia con la construcción de las obras dimensionadas en los estudios anteriores.
- **Operación:** En esta última etapa se realizan las pruebas de funcionamiento de la central para verificar que la pequeña central hidroeléctrica esté lista para entrar a operación.

3. NORMATIVIDAD VIGENTE, LEY 1715Y MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL).

Las políticas planteadas en Colombia referentes a proyectos de generación de energía eléctrica y el desarrollo de la misma actividad, han sido políticas cambiantes y complejas, que han evolucionado con el pasar del tiempo, las necesidades y las nuevas tendencias que se presentan en los diferentes aspectos de mercado, tecnologías, medio ambiente y de la misma sociedad.

A continuación se describen diferentes pasos a seguir con los elementos de ley, decretos y resoluciones actuales y vigentes de carácter general establecidos a la fecha, en proyectos de PCH'S en Colombia.

Para iniciar un proceso se debe elaborar un estudio de reconocimiento, este estudio debe contener lo siguiente: descripción general del proyecto, estudio del recurso hídrico,

información básica, topografía general, localización, características técnicas básicas y mediante una comunicación escrita se envía este estudio a la autoridad ambiental donde se solicita el permiso de estudio del proyecto, luego de estar autorizado el estudio, se elabora una comunicación escrita y se solicita conocer ante la autoridad ambiental competente (proyecto > 20 MW, se solicita a la ANLA y si el proyecto < 20 MW, se solicita a la corporación autónoma regional) si el proyecto necesita DAA (Diagnóstico Ambiental de Alternativas). La corporación en su respuesta otorga el número de radicado, el cual se debe adjuntar con el estudio de reconocimiento realizado anteriormente.

Se realiza el estudio de prefactibilidad y el DAA si lo requiere y se le entrega a la autoridad ambiental para su revisión, luego se le entrega el estudio de prefactibilidad y el número de radicado a la UPME para así registrarlo y cumplir con la fase I.

Se continúa realizando el estudio del potencial hídrico energético de la cuenca del proyecto y se le envía este estudio a la UPME, el cual luego se le envía a la autoridad ambiental, si este concepto técnico es favorable se le solicita al ministerio del interior el concepto sobre presencias o no de comunidades étnicas y territorios colectivos, si se encuentra que si hay presencia de esto se debe adecuar el proyecto y comenzar de nuevo el proceso, si por el contrario no hay presencia de estos grupos, se continua con el proceso.

Se realiza la investigación de licencias mineras en el área de influencia del proyecto si se encuentra que si hay licencias se debe

adecuar el proyecto y comenzar de nuevo el proceso, si por el contrario no hay licencias, la autoridad ambiental entrega el auto donde se decide la alternativa para realizar el proyecto.

Ya con todo esto cumplido se realiza el estudio de Factibilidad y el estudio de impacto ambiental el cual debe ceñirse a la resolución 1503 del 2010. Se entrega a la autoridad ambiental el estudio de factibilidad y el EIA para solicitar la licencia ambiental y paralelo a esto se vuelve a registrar en el UPME fase II, que tiene como vigencia 1 año.

Ya cuando le otorgan la licencia ambiental se compran los predios y se obtienen los títulos de propiedad, mientras que la autoridad ambiental le solicita a la UPME el concepto sobre el potencial energético de la alternativa seleccionada, se hace una recopilación de información base y se elabora el estudio de conexión eléctrica y se envía al agente transportador y a la UPME quedado de este modo registrado en el UPME fase III que tiene como vigencia 1 año (Resolución UPME 520/2007)

Se realiza los diseños definitivos del proyecto que consta de: Obtención de información base (topografía de detalle), esquema definitivo, diseños detallados de las obras civiles, presupuesto de ejecución detallado, evaluación energética y financiera (obtención del CAPEX), especificaciones técnicas y pliegos de licitación vías e infraestructura, especificaciones técnicas y pliegos de licitación construcción de obras civiles, especificaciones técnicas y pliegos de licitación de equipos hidráulicos, equipos electromecánicos y

subestación., y especificaciones técnicas y pliegos de licitación línea de transmisión (adquisición de servidumbres).

Se inicia el proceso de declaratoria de utilidad pública del proyecto y se realiza el cierre financiero, el cierre financiero queda listo, cuando se tienen los empréstitos aprobados. Por lo general, EL CAPEX (gastos de capital del inglés “capital expenditure”) o cantidad de dinero que se proyecta invertir para la construcción y adquisición de equipos y EL OPEX, cantidad de dinero requerida para la operación y mantenimiento de la central, se debe obtener en esta fase. EL EQUITY es la deuda subordinada o la parte que le corresponde asumir al dueño del valor del proyecto (por lo general en Colombia para estos proyectos se del 20% al 30 %).

Se informa a la autoridad ambiental, el inicio de la construcción del proyecto, Se adquieren los seguros para construcción, transporte, montaje y operación de la planta, Se inicia el proceso de construcción, adquisición de equipos, montaje y puesta en servicio del proyecto, y se adquieren los incentivos tributarios. Paralelo a esto se elabora el contrato de la conexión eléctrica y se define al representante en el mercado eléctrico mayorista, realizando a su vez el contrato de venta de energía y se notifica al Centro Nacional de Despacho. Y por último se inicia la operación comercial

3.1. Ley 1715 aplicada a proyectos de PCH'S

El congreso de la republica decreto La Ley 1715 de 2014 “Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables

no convencionales al sistema energético nacional”, Dicha ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable.

Actualmente, la ley 1715 o ley de energías renovables como también es conocida, se encuentra en proceso de reglamentación por parte del ministerio de minas y energía.

Dentro de las definiciones establecidas dentro de esta ley, se menciona acerca de los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, los cuales por definición de la misma, son aquella fuente de energía obtenida a partir de los cuerpos de agua a pequeña escala, estos además son considerados una fuente no convencional de energía renovable.

Los beneficios de esta ley son:

- Entrega a la red de excedentes de energía
- Declaratoria de utilidad público
- Impuesto sobre la renta
- Exclusión del IVA
- Exención de aranceles

4. CASO DE ESTUDIO, PCH RÍO CLARO

4.1. Localización del proyecto.

El proyecto Pequeña Central Hidroeléctrica río Claro, está localizado en el Municipio de Jardín, sur oeste del departamento de Antioquia, 5 kilómetros aguas abajo de la cabecera municipal de Jardín, está planteado sobre el cauce principal del río Claro aguas abajo de la confluencia de la quebrada el Campino y 5 kilómetros aguas arriba de la desembocadura del río Claro en el río San Juan.

4.2. Descripción general del proyecto

La PCH río Claro tiene una capacidad instalada de 2,5 MW está se compone de un caudal de diseño de $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$, un caudal medio de $5,2 \text{ m}^3/\text{s}$, con medios máximos de $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ y una caída neta de 61 metros.

El proyecto capta a filo de agua los caudales del río Claro mediante una presa del tipo Tirol dotada de un azud de concreto de 2,57 m de altura, 11,85 m de longitud en la cresta con una sección vertedora de 8 m de ancho, dotada en la margen izquierda, de una estructura para la descarga de fondo con una compuerta plana de vástago saliente de operación manual, para el desgrave del vaso del afluente, de 1,40 m de alto por 1,0 m de ancho, complementada con una sección de captación de $12,6 \text{ m}^2$; la estructura cuenta con una reja de fondo de 7,0 m de longitud medida a largo del eje de la presa y 1,8 m de ancho, medida en la dirección del río, con la cual se captan caudales hasta de $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$ para su aprovechamiento

hidroeléctrico. Esta obra de captación está complementada con un box-couvert de conducción de 80 m de longitud y $4,55 \text{ m}^2$ de sección transversal labrado en roca basáltica, un desarenador simple tipo duffuor de 20 m de longitud y 10,5 m de ancho, el que se dotará con un canal alterno para el mantenimiento, diseñado para sedimentar partículas hasta de 0,25 mm, el cual alimenta un tanque de carga contiguo a este que opera con nivel normal y garantiza la adecuada sumergencia de la captación para la conducción en tubería de baja presión.

La conducción consta de la tubería de baja presión, la tubería de presión superficial y el distribuidor a la turbina. La conducción está dimensionada para conducir un caudal de $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$ y presenta las características dadas en la Tabla 1.

El distribuidor alimenta dos unidades generadoras equipada con turbina tipo Francis de eje horizontal, la cual está alojada en una casa de máquinas superficial de unos 30,7 m de largo por 12,7 m altura, dispuesta a orillas del río Claro, en una plazoleta preparada en la cota 1445 en la cual se ubica además la subestación.

Se instalara dos válvulas una válvula en la caseta de válvulas que será una válvula mariposa, al inicio de la tubería de presión se empleará para mantenimiento de la tubería de presión, cuando se requiera vaciar la tubería para una reparación o para el cierre de una emergencia en la conducción forzada, esta válvula será de tipo mariposa con contrapesas para cierre de emergencia, será horizontal con dos extensiones de tubería cada una para la conexión

a la tubería de conducción y de presión, estará soportada por bases de concreto y asegurada a estos mediante pernos y elementos de anclaje, las operaciones de apertura y cierre se efectuarán bajo presiones de agua equilibradas, por lo que tendrá by-pass, la apertura de la válvula de protección de la tubería de presión se llevará a cabo por medio de un servomotor, accionado con aceite a presión desde una unidad oleo-hidráulica situada en la misma caseta de válvulas. La segunda válvula es una de disco o cortina con vástago saliente, tendrá volante con caja multiplicadora de piñones con relación 1:6 y podrá ser accionada manualmente o eléctricamente por un moto-reductor, se utilizará para el mantenimiento de la turbina y como respaldo ante una falla de distribuidor de la turbina, esta válvula tendrá también un by-pass manual para el equilibrio de presiones aguas arriba y aguas debajo de la válvula.

Mediante el esquema propuesto, se logra aprovechar un salto de

Tabla 1 Características para la conducción

| Obra | Longitud (m) | Diámetro (m) |
|-------------------------|--------------|--------------|
| Tubería de baja presión | 2253 | 1,7 |
| Tubería de presión | 194 | 1,4 |

67 m entre el nivel normal del agua en la captación dispuesta en la cota 1512 msnm y la cota 1445 msnm ubicada la casa de máquinas; cada una de las unidades, de eje horizontal procesa un caudal de

2,1 m^3/s para una potencia de 1,25 MW; suministrando en total una potencia de 2,5 MW; el generador es trifásico, sincrónico, a 60 Hz y tiene una capacidad nominal de 1650 KVA y está diseñado para acoplarse a un transformador elevador trifásico de 2500 KVA a 4.16/44 KV ubicado en la subestación de 44 KV o dependiendo del estudio de conexión se acoplaría a un transformador elevador trifásico de 2500 KVA a 4.16/13.2 KV ubicado en la subestación de 13.2 KV localizada junto a la casa de máquinas. La elección del transformador depende de lo arrojado por el estudio de conexión.

Dependiendo del estudio de conexión, la subestación del proyecto ubicada al lado de la casa de máquinas cuenta con un campo de salida de 44 KV, del que sale una red eléctrica de aproximadamente 30 km de longitud, que se conecta a la subestación de energía existente en el Municipio de Hispania o con un campo de salida de 13,2 KV, del que sale una red eléctrica de aproximadamente 13 km de longitud, que se conecta a la subestación de energía existente en el Municipio de Andes.

4.3. Descripción de la cuenca aprovechada

El proyecto utiliza las aguas del río Claro que nace en el alto de la Raya en la zona de San Rafael, al sureste del Municipio de Jardín, a unos 3000 msnm, con el nombre de Q. Bonita y desciende bordeando la cabecera del Municipio de Jardín. Su recorrido se realiza predominantemente de este a oeste en una longitud aproximada de 19 km, recibiendo en su recorrido los aportes de 198 corrientes, conformando así el río Claro. El río Claro es un

tributario del río San Juan, que es a su vez afluente del río Cauca, cuyas aguas vierten al océano Atlántico en el mar Caribe.

La cuenca hidrográfica se encuentra en la zona andina sobre la cordillera occidental colombiana, entre los 3000 msnm y 1420 msnm. La cuenca hidrográfica del río Claro hasta el sitio de toma para la PCH, tiene un área de $137km^2$, con un ancho promedio de 4,0 km y una amplitud máxima de 6,0 km.

No se realizó el proyecto más allá de la actual localización de la casa de máquinas, por ser territorio Indígena (Resguardo de Cristianias), sitio protegido por la legislación Nacional.

4.4. Estudio topográfico

Se realizó el estudio topográfico con el fin de obtener en detalles las características del terreno donde se realizará el proyecto para su adecuado estudio y diseño. Teniendo en cuenta que el potencial hídrico está ligado a los parámetros hidrológicos y a las características topográficas en el campo, previo al levantamiento, se realizaron varias visitas de reconocimiento del terreno con ayuda de clisímetro Abney, alfilerómetro y un sistema de Posicionamiento Global GPS los cuales arrojan puntos de cada una de las diferentes estaciones del proyecto. Se verificaron las características del terreno, la pendiente del río, la distancia de conducción y los apoyos de la tubería de presión en los casos donde se requiera.

Se posicionaron las cotas para la toma de agua, el pre decantador, el boxcoulvert, el desarenador, el alineamiento de la conducción de

baja presión, los viaductos, la almenara, la tubería forzada, la casa de máquinas y el canal de fuga.

Como material de apoyo se usó la cartografía existente de la zona. Proveniente de los planos a escala 1:10.000 y 1:25.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, en los cuales se encuentra localizado el proyecto. Además se consideró suficiente utilizar las restituciones del IGAC de las siguientes planchas 186-I-A, 186-I-B, 186-I-C y 186-I-D.

4.5. Estudio hidrológico

En este estudio se desarrolló una metodología para calcular las series de caudales medios mensuales las cuales aportaron los caudales mínimos y medios para el diseño de las obras, además se planteó un procedimiento para el cálculo de los caudales máximos. Para realizar este estudio se recurrió a la información histórica disponible en el área pero la información existente para la zona es muy pobre; solo está cubierta satisfactoriamente la cuenca del río San Juan; por lo que fue necesario regionalizar para estimar información de caudales en la cuenca del río Claro.

En la cuenca del río San Juan se encuentran localizadas, tres estaciones hidrométricas las cuales están ubicadas en los sitios conocidos como Campamento y Remolinos sobre el río San Juan y Brasilia sobre el río Bolívar. En la **Tabla 2** se representa la información general de estas tres estaciones

Tabla 2. Estaciones hidrométricas

| Estación | Corriente | Coordenadas | | Elevación msnm | Duración Registros | Caudal medio m^3/s |
|------------|-----------|-------------|---------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| | | X | Y | | | |
| Remolinos | San Juan | 1139500 | 1128740 | 670 | 1972-79 | 54.4 |
| Campamento | San Juan | 1120270 | 1133310 | 1050 | 1972-79 | 28.5 |
| Brasilia | Bolívar | 1136020 | 1126560 | 820 | 1972-79 | 7.78 |

El conocimiento del caudal del río, su confiabilidad y su extensión en sus registros históricos influyen al momento de estimar la oferta hídrica superficial, en este caso no existe datos para medir los caudales porque no existe una estación hidrométrica en la cuenca del río claro, por lo que el caudal medio se estimó mediante el método de transposición de caudales a partir de los datos existentes de la estación remolinos gracias a ser las más completa de todas las estaciones, y que sus datos pertenecen a la misma cuenca (río San Juan).

El método de transposición se utiliza para obtener información de caudales en el área seleccionada para el proyecto en función de la información conocida por otra sección del mismo o de otro curso de agua en este caso del río San Juan, por lo que se usó la fórmula

1

$$\frac{A_P}{A_E} = \frac{Q_P}{Q_E} [=] m^3/s, \quad (1)$$

donde,

Q_P = Caudal en el sitio donde se construirá la obra, Q_E = caudal tomado de una estación localizada en el río San Juan del cual se dispone la información su caudal histórico es de $52 m^3/s$, A_P = Área de drenaje desde la cabecera hasta el sitio de localización de las obras de captación con un valor de $109 Km^2$, A_E = Área de drenaje de la cuenca hasta el sitio de localización de la estación pluviométrica de $1206,66 Km^2$

Se calculó el caudal ecológico con el fin de impedir que se seque la fuente de abastecimiento y que se tenga continuidad en los procesos ecológicos y biológicos hacia aguas debajo de la captación, la metodología utilizada es la requerida por la legislación Colombiana por lo que se escogió dos métodos, el método del IDEAM y el método de ENA, el valor mínimo de los dos caudales fue dado por el método del IDEAM con un valor de $0,62 m^3/s$, siendo este el caudal ecológico.

Se tiene que el caudal mensual multianual es de $4,74 m^3/s$ y para hallar el caudal medio para la planta a este caudal mensual multianual se le resta el caudal ecológico donde dio un valor de $4,12 m^3/s$

De la función de Moreira se obtiene el caudal de diseño optimal (el mejor desde el punto de vista técnico y económico) donde dio un valor de $4,2 m^3/s$. Por lo tanto la planta se diseñara con un caudal

de diseño de $4,2 m^3/s$ y el caudal de garantía ambiental es de $0,62 m^3/s$ equivalentes al 14% del caudal de diseño.

Para dimensionar las obras permanentes como la presa, el vertedero, etc se calculó tanto el caudal de crecientes (Q_{ci}) por medio del método de Gumbel, permitiendo ver el desempeño de las obras ante presencia de crecientes máximas con recurrencia muy largas, de orden de 200 años, como también el caudal de desvío (Q_{cd}) por medio del método de fuller, con el conocimiento de este caudal se procede a dimensionar la escollera del río

4.6. Estudio Geológico

En la metodología utilizada en este estudio se tuvo en cuenta que el alineamiento del proyecto está en gran parte sobre el talud inferior de la vía que comunica la población de Andes con Jardín, por lo que se optó realizar el levantamiento topográfico de la conducción el cual se efectuó con secciones cada 10 metros a lado y lado del eje de conducción. Se levantaron detalles en zonas especiales tales como puentes, escorrentías, cruces de vías, etc. Igualmente, se localizaron las obras existentes a lo largo de la conducción.

La topografía se referenció de acuerdo con lo establecido por el IGAC, con puntos de georeferenciación con coordenadas próximos al eje de la conducción y ubicados en sitios accesibles. Además, se ubicaron BM al comienzo y al final del levantamiento.

El trabajo de campo se inició en el kilómetro 0+000, ubicado en la bocatoma sobre el río Claro y terminó en el kilómetro 2+253.000 metros en el sitio donde quedará emplazada la almenara y la casa de máquinas más abajo.

Con base en la información secundaria recolectada y en los recorridos de campo efectuados a través del tramo de 2,25 Km demarcado por la conducción, se encontró que el proyecto está fundado en rocas volcánico sedimentarias de la Formación Combia y stock de Támesis que poseen muy buena competencia mecánica para la cimentación de estructuras.

Específicamente en el área de influencia del proyecto predominan los basaltos toleíticos; doleritas, picritas, tobas básicas y brechas volcánicas.

4.7. Estudio de Impacto Ambiental

Es importante evaluar los efectos que ocasiona al medio ambiente la realización de este proyecto. Este análisis ayuda a buscar las medidas de protección que requiere la implantación de las estructuras.

Según las condiciones de uso actual de los suelos en el área de influencia del proyecto, en el que la mayor parte de las tierras se encuentra fauna característica de la región, la magnitud de las obras civiles y su localización, permite deducir que los efectos ambientales directos serán despreciables y no contribuirán a aumentar el nivel de alteración de los ecosistemas terrestres, como tampoco contribuirá a mejorar su estado actual.

Es factible que se pueda presentar algunos efectos negativos indirectos y puntuales sobre la cobertura de unas pequeñas áreas del bosque, debido a que algunas obras del proyecto de generación eléctrica exigen remoción de vegetación menor, pero estos impactos son muy bajos si se tiene en cuenta los beneficios sociales que aportará el proyecto. Por otro lado se creará un plan de manejo ambiental que permita compensar y mejorar la cobertura del bosque natural.

De la evaluación, no se encontraron especímenes importantes y endémicos que fueran removidos. Solo se impactan algunos frutales y arbustos de tamaño menor.

En conclusión se puede destacar los siguientes aspectos:

-El proyecto no demanda una deforestación importante y la limpieza que se requiere hacer a la ladera de la cuenca sólo se limita a rastrojo sin deforestar el bosque.

-La construcción de este proyecto no aflige ningún núcleo urbano asentado en la región.

-No se afectará ningún yacimiento de minerales, ni existe construcciones con interés Histórico-Cultural o sitios arqueológicos que merezca modificar el proyecto.

-La obra creará fuentes de empleo a los habitantes de la región sobre todo en las etapas de construcción de las obras civiles y montajes eléctricos, con la asesoría permanente de un grupo de ingenieros.

-Las vías de comunicación no se verán afectadas por la realización de este proyecto.

-La fauna encontrada a lo largo del río Claro puede llegar a afectarse y sufrir desplazamientos, aunque en el corredor del proyecto, no se encontraron especies endémicas que se puedan ver amenazadas, se sugiere realizar constantes muestreos y monitoreo de la fauna mientras se realiza la construcción para garantizar la permanencia de las especies en la zona y así mitigar este impacto.

-La realización de este proyecto no afectará la geología ni el clima de la región.

4.8. Estudio socioeconómico

Es importante notar que el país tiene gran experiencia en la construcción de PCH'S y se ha visto que estas construcciones no conlleva problemas graves de índole social, económica o ambiental para la población local, pero siempre es importante tomar medidas preventivas y correctivas para mitigar los posibles impactos independientemente de su tamaño.

Durante la construcción, se sugiere realizar un Plan de Gestión Social, donde se realice programas dirigidos a la población para mitigar los posibles impactos que sean producidos por el desarrollo del proyecto.

4.9. Estudio hidroenergético

En este estudio es importante cuantificar las pérdidas hidráulicas en las distintas estructuras en las que tengan relación con la fricción del agua, se determinó la potencia hidráulica que el lugar del aprovechamiento permite instalar y se obtuvo la energía media anual y factor de planta

Las pérdidas totales en ningún caso pueden superar el 10% de la cabeza bruta del proyecto, para este caso para una cabeza bruta de 67 metros tenemos unas pérdidas totales de 5,97 m estando dentro del rango permitido.

La caída líquida del proyecto se encuentra con el valor de la caída bruta menos las pérdidas totales en la conducción donde dio un valor de 61 metros. Esto se muestra en la fórmula (2).

$$H_n = H_B - H_p [m], \quad (2)$$

Donde

H_n = cabeza líquida del proyecto en m,

H_B = cabeza bruta en m,

H_p = pérdidas totales en la conducción en m

El cálculo de la potencia hidráulica está dada por la siguiente ecuación (3),

$$P = 9,801 \times Q \times H_n [Kw], \quad (3)$$

Donde, Q es el caudal en m^3/s y H_n es la cabeza líquida del proyecto en m, dando un valor en la potencia de $2512.25 Kw \approx 2500 Kw$.

El factor de planta (f.p) es el cociente entre la energía real generada por la central eléctrica durante un período (generalmente anual) con un valor de 15,8 GWh y la energía generada si hubiera trabajado a plena carga durante ese mismo período 22,19 GWh, dando un factor de planta de 0,71.

5. Estudio de conexión eléctrica

Los estudios de conexión eléctrica son un elemento clave de la planeación de proyectos de generación de energía eléctrica, en el cual se estudia el comportamiento de un sistema eléctrico ante la conexión de nuevos equipos (Transformadores, Generadores, Líneas de Transmisión entre otros). Este estudio se realiza mediante el análisis de las diferentes condiciones, escenarios y características planteadas del sistema eléctrico, con el propósito de establecer una alternativa óptima y viable de conexión eléctrica que garantice mayores beneficios en un proyecto, una buena operación del sistema y el cumplimiento de la normatividad vigente establecida.

La resolución CREG 025 de 1995 “Código de Redes” establece dentro de su capítulo de conexión los lineamientos técnicos mínimos necesarios y los criterios para este tipo de proyectos en donde se buscan dar cumplimiento a los aspectos de calidad, confiabilidad y seguridad del sistema.

En Colombia, para proyectos de PCH's, el artículo 4° de la resolución CREG 086 de 1996 establece las condiciones de conexión de plantas menores de 20 MW a los sistemas interconectados (STN, STR o SDL). Estos estudios de conexión pueden ser realizados por parte del transportador de energía o el propietario del proyecto, sin embargo, los costos relacionados con este tipo de estudios estarán a cargo del propietario; en el caso de que el estudio sea realizado por el propietario o alguno de sus consultores, la empresa transportadora de energía tiene la obligación de suministrar la información técnica requerida en un plazo máximo de dos (2) meses.

Los estudios de conexión, constan básicamente de la siguiente serie de análisis: Análisis de flujo de carga, Análisis de corto circuito, Análisis de estabilidad (Angulo, Voltaje, Frecuencia), Análisis de confiabilidad, Beneficios Operativos, Análisis Económico entre otros dependiendo las características y requerimientos propios de cada proyecto. Lo anterior es analizado en diferentes escenarios bajo condiciones de demanda mínima, mediana y máxima; y en diferentes periodos de tiempo de corto, mediano y largo plazo.

En el siguiente estudio de conexión eléctrica del caso práctico PCH Rio Claro, por tratarse de una tesis de grado, las limitaciones en la

información y además de no ser una fuente de generación de energía tan representativa para el sistema eléctrico nacional, se propone solo analizar los siguientes aspectos: Análisis de flujo de carga, Análisis de cortocircuito, Análisis de estabilidad y una Evaluación económica básica; de modo de que la tesis sea lo más concisa y específica posible. Para el análisis también se propone solo adelantar este estudio en un escenario de entrada de la planta PCH Rio Claro para el año 2019 en un periodo de demanda máxima.

Para el modelado, simulación y análisis del sistema se implementa el programa DIgSILENT Power Factory, el cual es una herramienta potente para la observación de flujos de carga, cortocircuito y estabilidad en sistemas de potencia.

Se plantea para el estudio de conexión, solo el escenario de demanda máxima al momento de entrar en operación la planta, es decir; para este caso se supone una entrada en operación de la PCH en año 2019

Después de analizar los diferentes datos, normatividad e información obtenida por las diferentes fuentes; se encuentran dos subestaciones cercanas al sitio de influencia del proyecto y con características aparentemente favorables para conexión de la PCH Rio Claro, estas son: Subestación Hispania 44 kV y subestación Andes 13.2 kV, ambas propiedad de Empresas Públicas de Medellín (EPM).

Cabe resaltar que la red que se deriva de la subestación Hispania 110 kV del STN y sus elementos del STR propiedad de EPM en la

zona Sur oeste del departamento de Antioquia debe ser creada en su totalidad como un subsistema y luego ser conectado a la barra Hispania 110 kV del STN con el fin de obtener datos más certeros. Con lo anterior se propone analizar las siguientes alternativas de conexión:

- Alternativa 0 (caso sin proyecto): Esta alternativa realmente consiste en el caso sin conexión del proyecto o caso base, es adecuado su análisis con el propósito de realizar posteriores comparaciones de los resultados obtenidos con las demás alternativas. Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** en (ANEXO 3).
- Alternativa 1: Esta alternativa consiste en la conexión del proyecto PCH Rio Claro mediante una línea de 44 kV a la subestación Hispania 44 kV del sistema de transmisión regional (STR) con una longitud aproximada de 30 Km. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra esta alternativa (ANEXO 3).
- Alternativa 2: Esta alternativa consiste en la conexión del proyecto PCH Rio Claro mediante una línea de 13.2 kV a la subestación Andes 13.2 kV del sistema de transmisión regional (STR) con una longitud aproximada de 13 Km. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (ANEXO 3) muestra esta alternativa

Análisis de flujo de carga:

Los resultados del análisis de flujo de carga en condiciones normales de operación para el año 2019 y en demanda máxima permiten evidenciar un buen desempeño de la red tanto sin proyecto como con las diferentes alternativas, presentándose perfiles de tensión en la zona de influencia del proyecto dentro de los rangos establecidos en la regulación. Ver Tabla 3 y Tabla 4

Tabla 3. Niveles de tensión. año 2019 - Demanda máxima

| SUBESTACION | ALT 0 | | ALT 1 | | ALT 2 | |
|----------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | p.u | kV | p.u | kV | p.u | kV |
| Hispania 110 kv | 0,99 | 108,61 | 0,99 | 109,08 | 0,99 | 109,08 |
| Hispania 44kv | 0,96 | 42,45 | 0,97 | 42,79 | 0,97 | 42,80 |
| Andes 44 kV | 0,91 | 40,21 | 0,92 | 40,58 | 0,94 | 41,15 |
| Andes 13.2 kV | 0,90 | 11,91 | 0,91 | 12,03 | 0,93 | 12,25 |
| PCH alt 1-LT 1 44 kV | - | - | 0,99 | 43,76 | - | - |
| PCH alt 2 13.2 kV | - | - | - | - | 1,03 | 13,62 |
| Barra PCH 4.16 kV | - | - | 1,03 | 4,28 | 1,05 | 4,43 |

Análisis de Cortocircuito:

Los resultados encontrados del análisis de cortocircuito tanto trifásico como monofásico, se observa en la Tabla 5 y Tabla 6 que los niveles de cortocircuito en el área del proyecto para cualquier alternativa, no se modificaron de manera significativa, por lo tanto se espera que no se vea afectado el nivel de interrupción, ni soportabilidad de los equipos de las subestaciones de influencia del proyecto PCH Río Claro.

Por otra parte, el máximo nivel de corto encontrado en las nuevas instalaciones se presentaría en la Alternativa 1 en la Barra PCH Río Claro 4.16 kV con un valor de 7.230 kA.

Tabla 4. Porcentaje de cargabilidad de equipos. Año 2019 - Demanda máxima

| ELEMENTO | ALT 0 % | ALT 1 % | ALT 2 % |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|
| Trans S/E Hispania - 40 MVA | 58,92 | 52,16 | 52,19 |
| Trans S/E ANDES - 20 MVA | 47,70 | 47,26 | 34,86 |
| Linea Hispania - Andes 17 KM @ 44 kV | 65,99 | 65,38 | 51,64 |
| Alternativa 1 - LINEA 30 km @ 44 kV | - | 14,08 | - |
| Alternativa 2 - LINEA 13 km @ 13.2 kV | - | - | 34,88 |
| Trans S/E alt 1 - 2.5 MVA | - | 97,24 | - |
| Trans S/E alt 2 - 2.5 MVA | - | - | 93,92 |
| PCH RIO CLARO | - | 75,76 | 75,76 |

Análisis de Estabilidad:

Se simularon fallas trifásicas en la barra de conexión de los generadores, para un escenario operativo demanda máxima en el año 2019. En las Ilustración 1 e Ilustración 2 se observa los

comportamientos ante diferentes tiempos de aclaración de fallas para las diferentes alternativas.

Incrementando el tiempo de aclaración de fallas en variaciones de 10 ms, hasta que la unidad de generación pierda sincronismo con el sistema. Se obtienen los siguientes datos de la Tabla 7, donde se muestra los tiempos críticos de despeje de fallas para la alternativa 1 y alternativa 2

Tabla 5. Niveles de cortocircuito trifásico. Año 2019-Demanda máxima

| SUBESTACION | ALT 0 | | | ALT 1 | | | ALT 2 | | |
|-------------------|---------|------------------|-------|---------|------------------|--------|---------|------------------|--------|
| | Skss | Iks _s | Ip | Skss | Iks _s | Ip | Skss | Iks _s | Ip |
| HISPANIA 110 kV | 677,190 | 3,554 | 7,542 | 689,640 | 3,620 | 7,702 | 686,550 | 3,603 | 7,632 |
| HISPANIA 44kV | 303,110 | 3,977 | 9,760 | 315,970 | 4,146 | 10,170 | 312,280 | 4,098 | 9,984 |
| ANDES 44 kV | 130,350 | 1,710 | 3,038 | 132,530 | 1,739 | 3,076 | 140,490 | 1,843 | 3,277 |
| ANDES 13.2 kV | 100,570 | 4,399 | 8,474 | 101,910 | 4,457 | 8,563 | 110,900 | 4,851 | 9,282 |
| PCH ALT 1 44 kV | - | - | - | 102,110 | 1,340 | 2,462 | - | - | - |
| PCH ALT 2 13.2 kV | - | - | - | - | - | - | 30,960 | 1,354 | 2,792 |
| BARRA PCH 4.16 kV | - | - | - | 51,430 | 7,138 | 16,976 | 34,390 | 4,772 | 10,557 |

Los tiempos críticos de aclaración de fallas hallados en el análisis de estabilidad transitoria son siempre superiores a los tiempos requeridos por equipos de protección para despeje de fallas en el sistema (100 ms). Por lo anterior, las dos alternativas planteadas tienen un buen comportamiento desde el punto de vista del análisis transitorio.

Tabla 6. Niveles de cortocircuito monofásico. Año 2009 -Demanda máxima

| SUBESTACION | ALT 0 | | | ALT 1 | | | ALT 2 | | |
|-------------------|---------|------------------|--------|---------|------------------|--------|---------|------------------|--------|
| | Skss | Iks _s | Ip | Skss | Iks _s | Ip | Skss | Iks _s | Ip |
| HISPANIA 110 kV | 241,300 | 3,800 | 8,062 | 244,390 | 3,848 | 8,188 | 243,690 | 3,837 | 8,157 |
| HISPANIA 44kV | 0,07 | 0,03 | 0,07 | 18,660 | 0,735 | 1,802 | 0,07 | 0,03 | 0,07 |
| ANDES 44 kV | 0,07 | 0,03 | 0,07 | 13,030 | 0,513 | 0,907 | 0,07 | 0,03 | 0,07 |
| ANDES 13.2 kV | 45,020 | 5,907 | 11,379 | 45,550 | 5,978 | 11,483 | 49,200 | 6,456 | 12,354 |
| PCH ALT 1 44 kV | - | - | - | 24,800 | 0,976 | 1,793 | - | - | - |
| PCH ALT 2 13.2 kV | - | - | - | - | - | - | 12,240 | 1,606 | 3,312 |
| BARRA PCH 4.16 kV | - | - | - | 17,370 | 7,230 | 17,196 | 13,030 | 5,425 | 12,001 |

Evaluación económica:

Los resultados de la Evaluación Económica muestran Tabla 8 que los menores costos totales de inversión se presentan en la Alternativa 2. Sin embargo, cabe destacar que en el anterior análisis solo se tuvo en cuenta el valor total del costo de la inversión inicial de las líneas de transmisión, no se tuvo en cuenta el costo inicial de otro tipo de equipamiento eléctrico. Tampoco se tuvieron en cuenta los costos por concepto de AOM y ANE.

Es importante tener en cuenta que los costos presentados son referenciales y se calculan con base en las resoluciones CREG 097 de 2008, la cual contempla unidades constructivas reconocidas por la CREG y por lo tanto no reflejan los costos reales del proyecto.

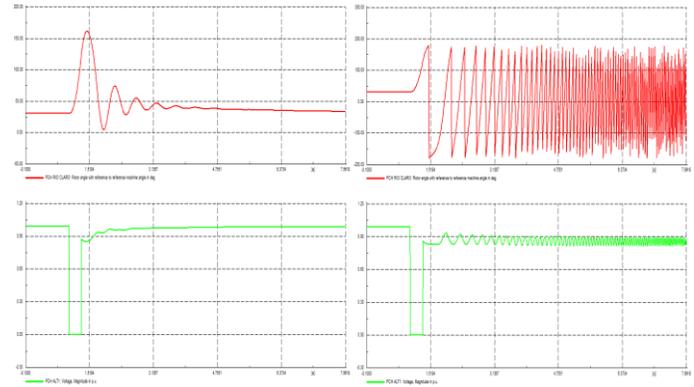


Ilustración 1. Análisis de estabilidad transitoria Alternativa 1
Año 2009- Demanda máxima

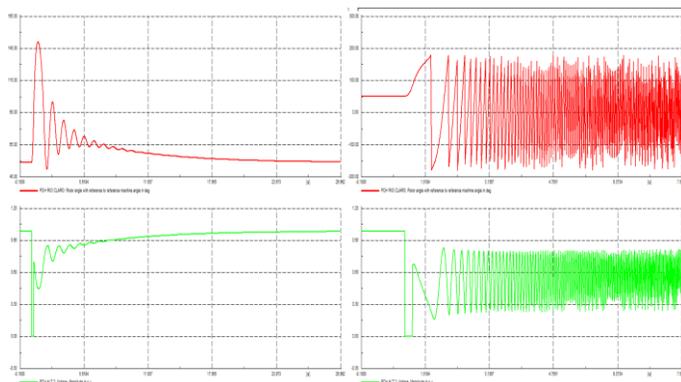


Ilustración 2. Análisis estabilidad transitoria Alternativa 2 Año 2009 - Demanda máxima

Tabla 7. Tiempos críticos de despeje de falla (ms). Año 2019- Demanda máxima

| ALTERNATIVA | ESTADO | TIEMPO |
|-------------|-----------|--------|
| 1 | ESTABLE | 310ms |
| | INESTABLE | 320ms |
| 2 | ESTABLE | 180ms |
| | INESTABLE | 190ms |

Tabla 8. Valor total de instalación de líneas de transmisión para alternativas 1 y 2 en millones de pesos.

| alt | nivel de tension | uc | descripción | cant | valor inst dic 2007 | valor total inst dic 2007 | valor total inst dic 2015 |
|-------|------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| alt 1 | nivel 3 (44kv) | n314 | km línea rural- circuito sencillo- poste concreto - conductor d- n3-1 | 30 | \$ 44 | \$ 1.320 | \$ 1.383 |
| alt 2 | nivel 2 (13,2kv) | n2127 | km línea rural- poste concreto- vano tipo 1 - 3 hilos (3 fases, sin neutro) - con -conductor d- n2-1 | 13 | \$ 34 | \$ 442 | \$463 |

Determinación de la alternativa de conexión eléctrica óptima:

Después de analizar ambas alternativa, tanto en su comportamiento eléctrico y un rápido análisis económico se ha optado por la

alternativa 2, la cual cumple con los aspectos de calidad, confiabilidad y seguridad.

Se recomienda la conexión del proyecto mediante la Alternativa 2, es decir, Conexión de la planta PCH Río Claro a la subestación Andes 13.2 kV mediante la conexión de una línea de 13.2 de aproximadamente 13 km.

Esta Alternativa presenta el mejor desempeño técnico bajo condiciones normales de operación y es la de menor costo para el inversionista.

6. Mecanismo de desarrollo limpio (MDL) aplicado a proyectos de PCH'S

La PCH Río Claro que se proyecta construir se clasifica como una hidroeléctrica en pequeña escala, que emplea en su proceso de transformación una fuente de energía limpia y renovable como lo es el agua y donde la energía eléctrica producida reemplazaría energía que hubiera sido generada por plantas termoeléctricas contaminantes que utilizan combustibles fósiles, permitiendo así la reducción de gases efecto invernadero.

Se espera que los CERs obtenidos para la planta Río Claro sean comprados por los países industrializados con el fin de que puedan cumplir sus compromisos de reducciones de emisiones exigidas dentro del Protocolo de Kyoto, instrumento que establece, principalmente, compromisos más estrictos de reducción y

limitación de emisiones de GEL para los países desarrollados, y un calendario determinado para cumplir dichos compromisos.

La venta de los CERs significa para esta PCHs, una vez sea registrada como MDL, recibir un incentivo económico adicional al ingreso por la venta de energía. Estos ingresos serán seriamente considerados para la realización del proyecto y se consideran decisivos para poder llevarlos a cabo (adicionalidad).

El proyecto Río Claro se formula como Mecanismo de Desarrollo Limpio - MDL bajo las siguientes premisas:

Objetivos del proyecto: Generar electricidad "limpia" para la red interconectada nacional de Colombia, usando recursos hídricos renovables. Esto permitirá la reducción de emisiones de CO₂ debido al desplazamiento de electricidad generada a partir de la quema de combustibles fósiles.

Medio de mitigación del cambio climático: En ausencia de la actividad del proyecto, la energía eléctrica a ser generada por la central hubiera sido generada por una planta termoeléctrica que utilizan combustibles fósiles.

Por lo tanto, se espera que el proyecto desplace plantas más contaminantes y pueda contribuir con la reducción de emisiones de CO₂. Adicionalmente, con este proyecto no se agotaría el recurso no renovable, como son los derivados del petróleo.

El proyecto contribuye con el desarrollo sostenible del municipio, la región y el país de la siguiente manera:

- Por la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, reduciendo la necesidad y dependencia del país de generar energía eléctrica por medio de plantas generadores que consumen combustibles fósiles.
- Por la generación de nuevas rentas para el municipio donde anteriormente no existía este tipo de actividad.
- Por la generación de nuevos puestos de trabajo en la zona de influencia del proyecto durante las fases de construcción y operación.
- Crecimiento económico a través del aporte económico que produciría la venta de los CERs y la venta de energía; permitiéndole a la nueva empresa E.S.P dueña de las central financiar parte de la maquinaria y equipos requeridos para el proyecto, así como cubrir parte de sus costos de operación y mantenimiento. Adicionalmente permitirá contribuir a mejorar la calidad de vida de la región con el desarrollo del proyecto, ya que el municipio quedaría comprometido a invertir el tres por ciento (3%) de los ingresos obtenidos de la venta de los CERs, en proyectos sociales para el desarrollo de las comunidades locales tales como educación y salud.

Dentro de las actividades de formulación del proyecto de la PCH Río Claro, como MDL, se deben realizar reuniones de presentación del proyecto en el contexto del Mecanismo de Desarrollo Limpio y el cambio climático.

La PCH Río Claro debe cumplir las fases de verificación y monitoreo anual exigido por el mecanismo. Durante estas fases de verificación se evaluará la efectiva reducción de emisión de GEL y la contribución real en la captura anual de toneladas de CO₂ equivalentes (tCO₂/e).

Como parte de la financiación, se calcularan las emisiones capturadas en base a un modelo desarrollado durante este estudio de factibilidad, con el fin de que puedan ser otorgados y vendidos los CER's antes de iniciar la operación de la hidroeléctrica.

El financiamiento del proyecto se podrá realizar a través de los programas departamentales como GEA, o través de corporaciones y entidades financieras tales como: La Corporación Internacional de Financiación – IFC del Grupo del Banco Mundial, La Corporación Interamericana de Inversiones – del Grupo del Banco Interamericano de Desarrollo o con la banca tradicional, Bancolombia.

Con el fin de poder acceder a los préstamos flexibles y con años de gracia que se ofrecen para este tipo de inversiones, es necesario que el municipio de Jardín ejecute y presente el estudio de factibilidad del proyecto Río Claro guardando las más estrictas exigencias técnicas, ambientales y sociales como de garantías de cumplimiento de sus obligaciones, por lo que se concibe la ejecución del proyecto Río Claro de Jardín (Antioquia) en el Marco del MDL.

Es de todos conocidos la vocación que posee el municipio verde de Jardín, por lo que la preservación del medio ambiente y el manejo

respetuoso de las comunidades es un requisito primordial para la ejecución de este proyecto.

REFERENCIAS

- Betancur, M. J., Moreno, J. A., Moreno-Andrade, I., & Buitrón, G. (2006). Practical optimal control of fed-batch bioreactors for the wastewater treatment. *Int. Journal of Robust and Nonlinear Control, Special Issue on Control of (Bio)Chemical Reacting Systems*, 16, 173-190.
- Betancur, M. J. (2013b). *Instructivo General UPB_autoArt*. Recuperado el 03 de marzo de 2013, de [http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/\(A\)_UPB_AutoArt_962.zip](http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/(A)_UPB_AutoArt_962.zip)
- Betancur, M. J. (2013). *UPB_autoArt_guía_Word*. Recuperado el 07 de agosto de 2013, de UPB_AutoArt_plantilla_Word: [http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/\(A\)_UPB_AutoArt_962.zip](http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/(A)_UPB_AutoArt_962.zip)
- Franco, A. M. (2005). *Estudio de factibilidad para la implantación de la minicentral hidroeléctrica de Acandi en el Departamento del Choco*. Medellín: UPB.
- Alcaldía del municipio El Jardín. (2012-2015). *Nuestro Municipio*. Recuperado el 2015, de Alcaldía de el Jardín-Antioquia: www.eljardin-antioquia.gov.co
- Juan Esteban Henao Ríos, F. M. (2011). *Museo Clara Rojas Peláez*. Obtenido de [mcrpjardin..blogspot.com](http://mcrpjardin.blogspot.com)
- Ingeniería Total, Servicios Públicos S.A. (s.f.). *nuevo portal corantioquia*. Obtenido de nuevoportal.corantioquia.gov.co/Tematicas/PSMV/PSMV%20jardin.pdf
- IDEAM. (2004).

- Flórez, R. O. (2001). *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. (E. A. Herrera, Ed.) Bogotá: Mc Graw Hill.
- Universidad Nacional de Colombia. (30 de Octubre de 2008). Metodología para la estimación del caudal ambiental en proyecto licenciados. Bogotá D.C.
- Londoño, J. C. (1997). *Guía para el diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas*. Medellín.
- Smith Q, R. V. (1997). *Hidrología de Antioquia*. Medellín.
- Calle Z, B., & González I, H. (19882). *Geología y geoquímica de la plancha 186 Riosucio*. Instituto Colombiano de Geología y minería INGEOMINAS, Antioquia, Medellín.
- Restrepo Martínez, C. (mayo de 2004). Morfología de las cuencas hidrográficas y el ordenamiento territorial- suroeste Antioqueño cordillera occidental de los andes Colombianos.
- Álvarez, J. (1971). informe preliminar sobre geoquímica de la cordillera occidental. (INGEOMINAS, Ed.) Medellín.
- Restrepo, J. J., & Toussaint, J. F. (1974). Obducción cretácea en el occidente Colombiano. (U. N. Colombia, Ed.) *Anales Facultad Nacional de Minas* (58), 73-105.
- Álvarez, E., & González, H. (1978). *Geología y geoquímica del cuadrángulo I-7*. INGEOMINAS, Antioquia.
- Grosse, E. (1926). *Estudio Geológico del terciario carbinfero de Antioquia en la parte occidental de la cordillera central de Colombia entre el río Arma y Sacaojal*. Berlin: Dietrich Reimer.
- INGEOMINAS. (1999). *Memoria explicativa del Mapa Geológico de Antioquia*.
- Page, W. D. (1986). *Geología sísmica y sismicidad del noroeste de Colombia*. ISA.
- Instituto Geografico Agustín Codazzi (IGAC). (2007). *Antioquia características geográficas*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Creager, W., & Joel, J. (1927). *Hydroelectric handbook*. New York: Jhon Wiley & Sons Inc.
- Júdez, G. Z. (1979). *Centrales hidroeléctricas* (4 ed.). Barcelona: Editorial Gustavo Gili, S.A.
- Tabarquino Muñoz, R. *Los servicios publicos domiciliarios en Colombia: Una mirada desde la ciencia de la politica publica y la regulacion*.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Metodologia general para la presentacion de estudios ambientales*. Bogota, Colombia.
- UPME. (2015). *Registro de proyectos de generacion, Actualizacion junio de 2015*. Bogota.
- Generacion Electrica. (2015). *Mundo Electrico*, 29 (99).
- Alzate Restrepo, L. A., Cordoba Diaz, L. M., Escobar Baena, L. F., Guerra Velazquez, J., Marin Lopez, B. E., Rodriguez Garces, S. M., y otros. (2008). *Una aproximacion al mecanismo de desarrollo limpio y sus posibilidades para Colombia*. Medellín, Colombia.
- Pelaez Jimenez, S., Ramirez Gomez, C., & Restrepo Ortiz, L. A. (2011). *Herramienta computacional para la formulación y evaluación de proyectos de eficiencia energética y fuentes alternas de energía bajo el mecanismo de desarrollo limpio*. Medellín, Colombia.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (s.f.). *Finanzas Carbono*. Recuperado el Junio de 2015, de <http://finanzascarbono.org/>

Ortiz Florez, R. (2001). *Pequeñas Centrales Hidroelectricas*. Bogota, Colombia: Mc Graw Hill.



Toro Londoño, J. C. (1997). *Guia para el diseño de pequeñas centrales hidroelectricas*. Medellin.

Ministerio del Ambiente. (2011). *Guia practica para desarrolladores de proyectos MDL*. Lima, Peru.

Cornare. (s.f.). Recuperado el 6 de Mayo de 2015, de <http://www.cornare.gov.co/>

Ministerio de medio Ambiente. (s.f.).

SNV. (2009). *Mecanismo de desarrollo limpio conceptos basicos guia para la formulacion y presentacion de proyectos*.

United Nations. *Clean Development Mechanism CDM Methodology Booklet* (Sixth edition ed.).

Jaramillo Giraldo, J. F. (2010). *Guia para el diseño de pequeñas centrales hidroelectricas*. Medellin, Colombia.



AUTORES

Catalina Toro Alvarez. Nacida en Medellín (Antioquia) el 05 de enero de 1985, realizó sus estudios basicos en el Colegio San José De Las Vegas, Actualmente termino sus materias de Ingeniería Eléctrica, de la Universidad Pontificia Bolivariana de la ciudad de Medellín, Colombia.

Andres Mauricio Garcia Quintero. Nacido en Rionegro (Antioquia) el 23 de septiembre de 1986, realizó sus estudios basicos en la institucion educativa tecnico industrial Santiago de Arma, Actualmente termino sus cursosde Ingeniería Eléctrica, de la Universidad Pontificia Bolivariana de la ciudad de Medellín, Colombia.

