

ESTUDIO DE RECURSOS HÍDRICOS, POTENCIALES HIDROELÉCTRICOS Y DISEÑO DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ

Monroy Cuellar J.L., Herbas Camacho C., Funes Alvarez N., Ramírez Rodriguez E.

Instituto de Hidráulica e Hidrología IHH, Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz Bolivia.

RESUMEN El proyecto es la síntesis de tres proyectos similares realizados en los municipios de Pelechuco, Provincia Franz Tamayo, Charazani y Curva, Provincia Bautista Saavedra y Sorata, Provincia Larecaja del Departamento de La Paz. En la cuenca alta de los ríos Pelechuco, Caalaya y Cocco ubicados en estos municipios, se realizaron estudios hidrológicos para la cuantificación de los recursos hídricos, estudios de potenciales hidroeléctricos en las cuencas y se diseñaron tres pequeñas centrales hidroeléctricas PCHs., los tres componentes interrelacionados entre sí. Para lograr estos fines, se instalaron redes de estaciones hidrométricas y meteorológicas, recabando información por el periodo de un año. Los estudios hidrológicos, base de los otros, constituyen también un aporte relevante que permitirá a los municipios tener información básica para ejecutar proyectos de aprovechamiento de los recursos hídricos: agua potable, riego y generación hidroeléctrica. Los estudios a diseño final de las PCHs constituyen una base fundamental que permitirá a los municipios gestionar su futura implementación como proyectos de generación de energía eléctrica autogestionarios que permitan la generación de excedentes económicos que coadyuven en su desarrollo. Los estudios de potenciales hidroeléctricos permiten conocer las potencialidades de la zona en cuanto a la generación hidroeléctrica. Los estudios realizados constituyen también un aporte al desarrollo de la generación hidroeléctrica en pequeña escala en el país que a nivel mundial se considera como energía alternativa y que a nivel local cuenta con escaso crecimiento, pese a ser la base para el desarrollo de alternativas energéticas futuras como el *Hidrógeno Verde*.

PALABRAS CLAVE Caudales de Escorrentía; Pequeña Central Hidroeléctrica, Potencial Hidroeléctrico Teórico Bruto; Densidad del Potencial Hidroeléctrico Teórico Bruto; Potencial Hidroeléctrico Técnico Aprovechable.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el estudio de de Gernot Ruths: Planificación Energética Rural para Bolivia, realizado para el Ministerio de Energía e Hidrocarburos en el año 1990 (Ruths, 1990) único documento oficial que se conoce sobre este tema, la cordillera de Apolobamba, ubicada en el Departamento de La Paz es la que mayor potencial hidroeléctrico cuenta, con valores mayores a 100 GWh/Km²/año.

Pese a que estas zonas cuentan con potenciales interesantes, no se han realizado estudios específicos que permitan cuantificar con mayor exactitud sus potenciales. No se cuenta con estaciones hidrométricas en los ríos de la zona que permitan conocer el comportamiento de sus caudales en el tiempo y solo existen escasas estaciones meteorológicas con información confiable.

En la zona no existen centrales hidroeléctricas, al margen de algunas de pequeña capacidad (microcentrales hidroeléctricas) en algunas zonas como en Pelechuco y Charazani y Agua Blanca que en la actualidad siguen operando pese a que a la zona han llegado ya las redes eléctricas del sistema interconectado nacional.

2. ANTECEDENTES

El presente trabajo constituye un resumen de tres proyectos similares, desarrollados por el Instituto de Hidráulica e Hidrología, con recursos IDH de la UMSA.

Los tres proyectos cuentan con tres componentes principales similares:

1. Estudio de los Recursos Hídricos. - En las cuencas delimitadas, se instalaron redes hidrometeorológicas, compuestas básicamente por estaciones hidrométricas y estaciones meteorológicas. Con los datos recabados, información histórica meteorológica de estaciones cercanas y aplicando programas informáticos Precipitación – Escorrentía se generaron caudales de escorrentía, necesarios para el diseño de pequeñas plantas hidroeléctricas y fundamentales para evaluar los potenciales hidroeléctricos en las cuencas.

2. Diseño de Pequeñas Plantas Hidroeléctricas. - Se identificaron ubicaciones apropiadas para el diseño de pequeñas plantas hidroeléctricas y se diseñaron, considerando:

- Plantas en el rango de pequeñas centrales hidroeléctricas, con potencias instaladas menores a 10 MW.
- Amigables con el medio ambiente, sin presas ni embalses (centrales de derivación)
- Ubicadas cerca a poblaciones y redes eléctricas existentes, para bajar costos de inversión.

3. Estudio de Potenciales Hidroeléctricos. - El estudio de potenciales hidroeléctricos en cuencas, permite establecer la calidad de estas referida a sus potenciales hidroenergéticos, con respecto a otras. Para su cálculo se consideraron tres indicadores: El Potencial Hidroeléctrico Teórico Bruto P.H.T.B., La Densidad del P.H.T.B., y el Potencial Hidroeléctrico Técnico Aprovechable P.H.T.A. Se realizaron mapas temáticos de los indicadores.

3. JUSTIFICACIÓN

Estudios recientes establecen el potencial hidroeléctrico del país en 38.000 MW, con desarrollo solo del 1.93%. Respecto a la generación hidroeléctrica en pequeña escala (potencia instalada menor a 10 MW), Bolivia no cuenta con estudios de potencial hidroeléctrico y los escasos inventarios existentes muestran lo propio, incipiente desarrollo.

Consiguientemente, los esfuerzos que aporten al desarrollo de la generación hidroeléctrica en gran y en pequeña escala, se justifican considerando los siguientes aspectos:

- El desarrollo de la hidroenergía a cualquier escala, es muy importante como alternativa a las centrales a gas que operan con gas subvencionado a costos menores a los de exportación con la consiguiente pérdida económica para el estado.
- Últimamente, se ha desarrollado en muchos países el concepto de *Energía Distribuida*, consistente en la generación mediante pequeñas generadoras (entre 3 kW y 10 MW) conectadas a la red eléctrica existente y que interactúan con esta, generalmente próximas a los centros de consumo. Este concepto tiende a democratizar la generación de energía incorporando a muchos actores como: personas particulares, cooperativas, comunidades, municipios, etc., y se encuentra en fase de implementación en el país.

- Los altos niveles de contaminación están obligando a los países a reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera. De acuerdo con el Acuerdo de París sobre cambio climático de 2015, se espera que hasta el año 2050 gran parte de los vehículos de transporte tanto livianos como pesados sean eléctricos, por lo que la demanda de energía eléctrica, tanto a nivel mundial como en Bolivia tenderá a incrementarse notablemente.
- En la actualidad se viene estudiando la obtención de hidrógeno verde como combustible no contaminante. Este, obtenido por electrólisis del agua utilizando energías alternativas como la solar, eólica e hidroeléctrica en pequeña escala, es una de las alternativas más prometedoras en la reducción de gases de efecto invernadero.
- En definitiva, en el futuro se avizora que la demanda de energía eléctrica producida a partir de fuentes no contaminantes, en el mundo y en Bolivia se incrementará notablemente, por lo que el desarrollo de estas fuentes en todas las escalas, en nuestro medio es muy importante.
- En la cuenca de los ríos estudiados no existen estudios de cuantificación de recursos hídricos, hidrológicos, climáticos, de régimen de escorrentía de los ríos ni de potenciales hidroeléctricos, siendo estas zonas las nacientes de la cuenca del Beni.
- El diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas en la zona, como parte componente de los proyectos, constituye un aporte a los Gobiernos Municipales locales, como base para una futura implementación.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Contribuir al desarrollo de los municipios de Pelechuco, Charazani, Curva y Sorata mediante estudios de recursos hídricos, evaluación de potenciales hidroeléctricos y diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas en cuencas ubicadas en estos municipios.

4.2 Objetivos específicos

1. Elaboración de estudios de hidrología a partir de generación de información primaria.
2. Diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas para la generación de energía limpia.
3. Determinación de potenciales hidroeléctricos.

5. PROYECTOS REALIZADOS

Los proyectos realizados se denominan:

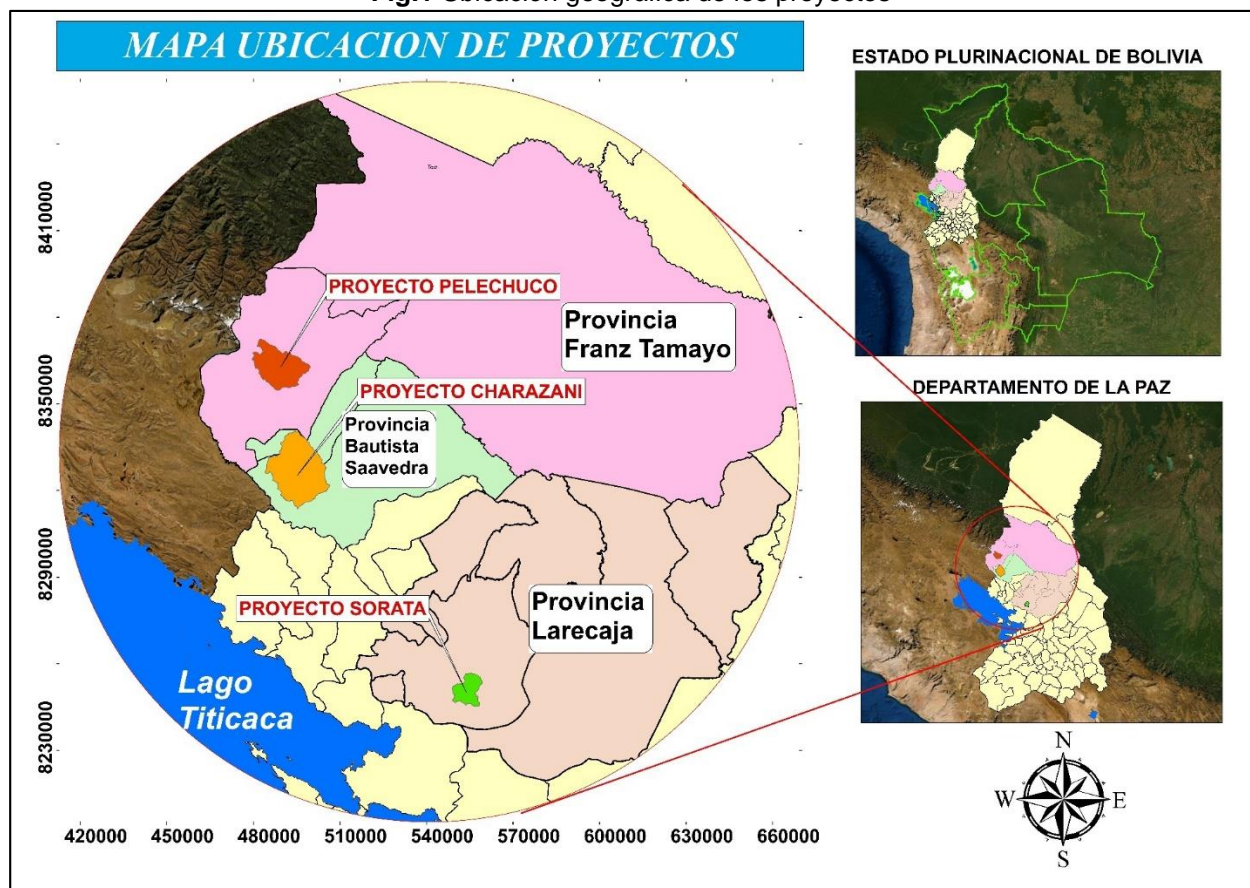
“ESTUDIO DE POTENCIALES HIDROELECTRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO PELECHUCO Y DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA PILOTO IDENTIFICADA”, desarrollado en el municipio de Pelechuco - Provincia Franz Tamayo.

“INVESTIGACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRICOS Y POTENCIALES HIDROELECTRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO CAMATA”, desarrollado en los municipios de Charazani y Curva - Provincia Bautista Saavedra.

“EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO EN CUENCAS GLACIARES DE ALTA MONTAÑA BAJO CONDICIONES DE CAMBIO CLIMATICO”, desarrollado en el municipio de Sorata - Provincia Larecaja.

En la figura 1 se muestra la ubicación de los proyectos ejecutados. Un resumen sucinto de cada uno de los proyectos permitirá visualizar sus características técnicas y los logros alcanzados.

Fig.1 Ubicación geográfica de los proyectos



5.1 ESTUDIO DE POTENCIALES HIDROELECTRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO PELECHUCO Y DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA PILOTO IDENTIFICADA

Este proyecto se ubica en la cuenca alta del río Pelechuco, en la Provincia Franz Tamayo del Departamento de La Paz, en la Cordillera de Apolobamba.

ESTUDIO DE HIDROLOGÍA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PELECHUCO

La cuenca delimitada para su estudio desde las nacientes del río Pelechuco hacia aguas abajo se ubica entre las coordenadas 14° 43' 20" a 14° 52' 54" de latitud sur y 69° 00' 9" a 69° 11' 24" de longitud oeste (figura 2). El río Pelechuco tiene sus nacientes en las cumbres del nevado Presidente a más de 5.000 metros de altura. La superficie de la cuenca es de 196.84 Km², y se encuentra en el municipio de Pelechuco. La tabla 1 detalla el área de cada sub cuenca determinada por las cinco estaciones hidrométricas instaladas por el proyecto.

El estudio de hidrología se realizó en base a la división de la cuenca en sub cuencas, en las cuales se calcularon las características morfológicas utilizando modelos digitales de elevación en el contexto SIG. La información con la que se contó fueron datos diarios de precipitación de la estación Pelechuco para el periodo 1976-1986, y datos climatológicos a un paso de tiempo de

10 minutos de precipitación, temperatura, humedad relativa, viento y radiación solar de dos estaciones meteorológicas instaladas por el proyecto: San José y Katantika para el periodo diciembre de 2016 a noviembre de 2017. También se obtuvieron datos de nivel de agua, cada 10 minutos de cinco estaciones hidrométricas instaladas por el proyecto para el mismo periodo: diciembre de 2016 a noviembre de 2017.

A partir de los datos hidrometeorológicos y la morfología de la cuenca y empleando información histórica de precipitación de la antigua estación meteorológica de Pelechuco (periodo disponible de 1976 a 1986). se obtuvieron caudales diarios de escorrentía empleando el software precipitación-escorrimento RS-MINERVE.

Fig.2 Ubicación de la cuenca alta río del Pelechuco y su división en sub cuencas

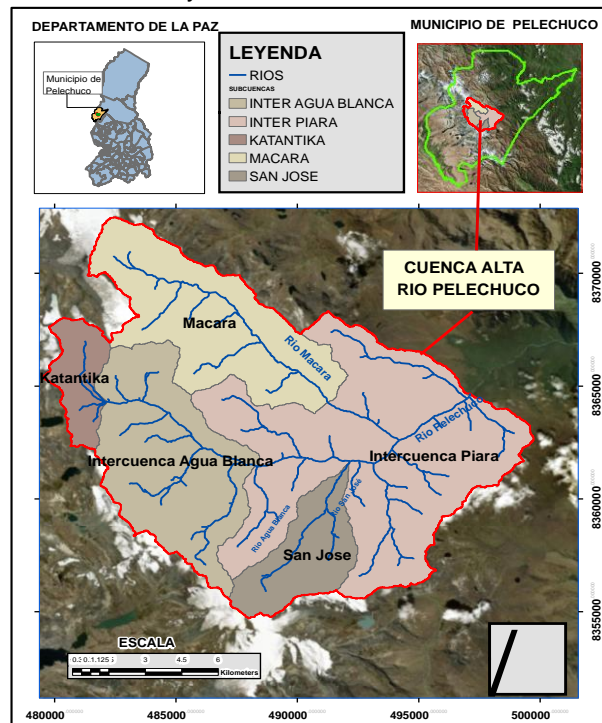


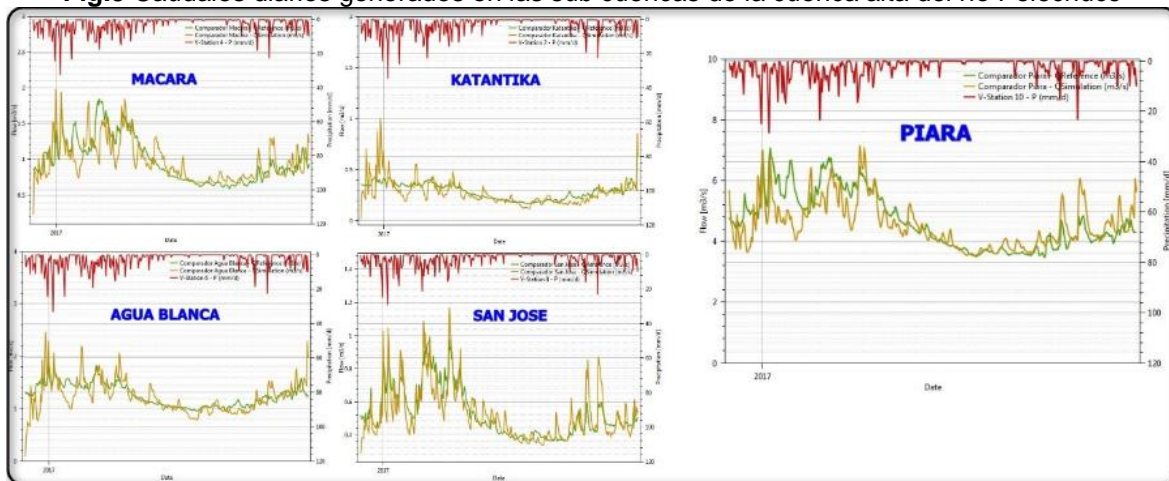
Tabla 1 Área de las sub cuencas de la cuenca alta del río Pelechuco

Sub cuencas	Área (km ²)
Katantika	9.63
Agua Blanca	52.95
San José	17.34
Macara	42.61
Cuenca Total (Piara)	196.84

En la figura 3 se observan los caudales de escorrentía generados en las sub cuencas de la cuenca alta del río Pelechuco. Los caudales en la Inter cuenca Piara corresponden a los caudales totales a la salida de toda la cuenca.

Para el diseño de la pequeña central hidroeléctrica ubicada sobre el río Macara, tributario del río Pelechuco, se elaboró la Curva de Duración de Caudales de este río y se realizó un estudio de caudales de crecida en esta sub cuenca. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 4 y en la tabla 2. El estudio de

Fig.3 Caudales diarios generados en las sub cuencas de la cuenca alta del río Pelechuco



caudales de crecida se realizó empleando tres métodos como se muestra en la tabla.

Fig. 4 Curva duración de caudales diarios (m3/s)

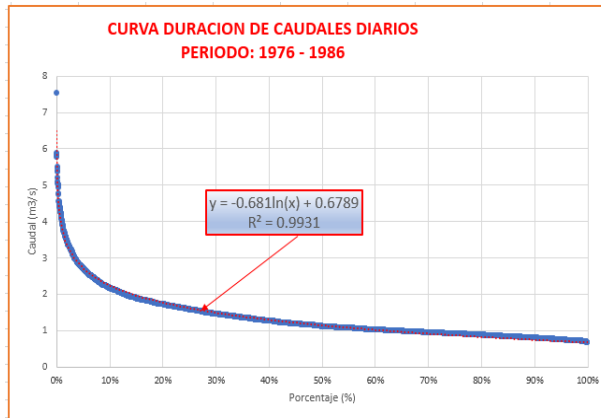


Tabla 2. Caudales de crecida cuenca río Macara

Cuenca	Periodo de Retorno [T _r] [años]	Modelo SCS [m³/s]	Modelo WinT R-55 [m³/s]	Modelo HEC-HMS4.0 [m³/s]	Caudal de diseño elegido [m³/s]
Macara	10	12.714	25.42	18.50	18.50
Macara	25	19.494	36.95	28.30	28.30
Macara	50	26.154	46.51	38.00	38.00

DISEÑO DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

En el río Macara, afluente del río Pelechuco, se diseñó una pequeña central hidroeléctrica PCH de derivación sin presa ni embalse, que cuenta con las siguientes obras componentes.

- Obra de toma de derivación sobre el río Macara
- Tubería de aducción entre la obra de toma y el desarenador – cámara de carga
- Desarenador – cámara de carga
- Tubería de presión
- Casa de máquinas
- Camino de acceso a la casa de máquinas
- Subestación de transformación eléctrica de elevación.

La planta cuenta con las siguientes características técnicas:

Tabla 3. Características técnicas PCH

Caudal de diseño Q	0.74 m3/s
Salto bruto Hb	325,37 m
Salto neto Hn	309,21 m
Potencia eje turbina Pe	2085 KW
Potencia instalada Pi	2000 KW
Factor de planta Fp	0,7
Energía anual generada	12118,2 MWh/año

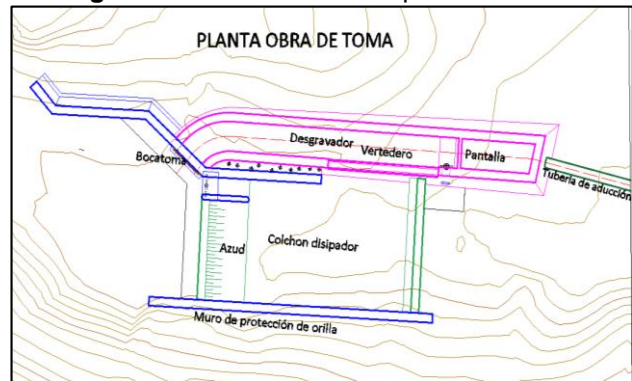
El caudal de diseño se adoptó a partir de la Curva de Duración de Caudales, considerando una Duración de 87%, restándole el caudal ecológico, es decir que este caudal o más existirá el 87% del año.

El salto bruto se generó aprovechando gran parte del desnivel de la cuenca, dado que la casa de máquinas se ubicó en la confluencia de los ríos Macara y Pelechuco.

El estudio de costos de la PCH se realizó a partir de la elaboración de costos unitarios y cálculos métricos de todos los ítems del proyecto. El costo total asciende a la suma de 4,027,596.40 US\$. Considerando la potencia instalada de 2000 KW, el costo unitario es de 2014 US\$/KW

A nivel mundial, se considera un intervalo de costos óptimo para proyectos hidroenergéticos de 1.000 a 3.000 US\$/kW. (Hall, 2003). Considerando que cuanto más chico es el proyecto mayor es el costo unitario, el costo de inversión calculado es muy aceptable, dado que proyectos a esta escala generalmente superan el límite superior planteado.

Fig. 5. Emplazamiento de la obra de toma, río Macara **Fig.6.** Planta obra de toma tipo azud derivador



ESTUDIO DE POTENCIALES HIDROELÉCTRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PELECHUCO

Para el cálculo del P.H.T.B. se utilizó el caudal medio anual calculado en el estudio hidrológico. Los desniveles topográficos de la cuenca fueron obtenidos mediante el uso de herramientas SIG. El P.H.T.B. es directamente proporcional a el caudal de escurrimiento y los desniveles existentes.

Fig. 7. Potencial Hidroeléctrico Teórico Bruto

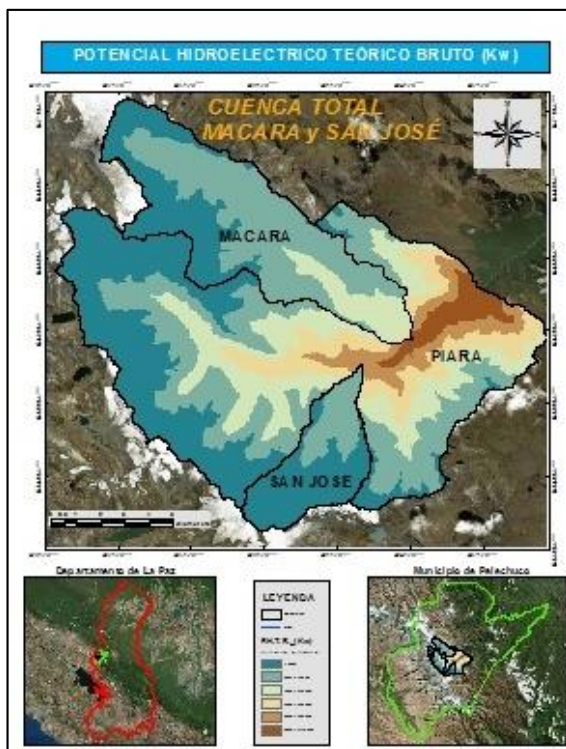
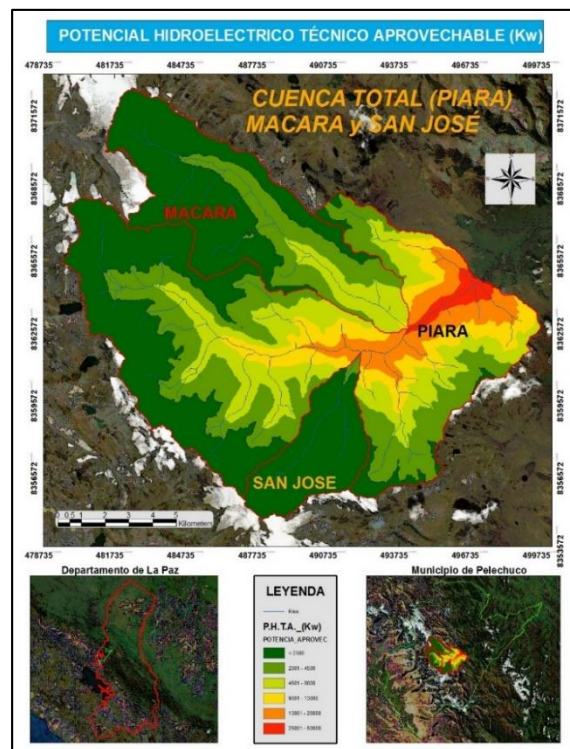


Fig.8. Potencial Hidroeléctrico Técnico Aprovechable



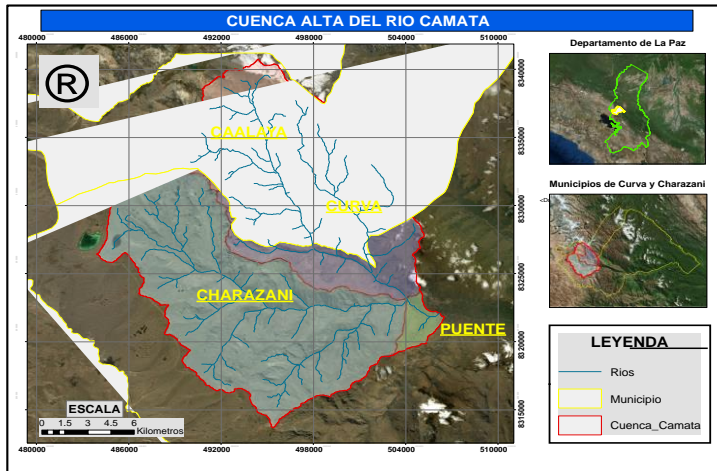
5.2 INVESTIGACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRICOS Y POTENCIALES HIDROELECTRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RIO CAMATA

El proyecto se ha realizado en la cuenca alta del río Camata, Provincia Bautista Saavedra del Departamento de La Paz, en la Cordillera de Apolobamba.

ESTUDIO DE HIDROLOGÍA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CAMATA

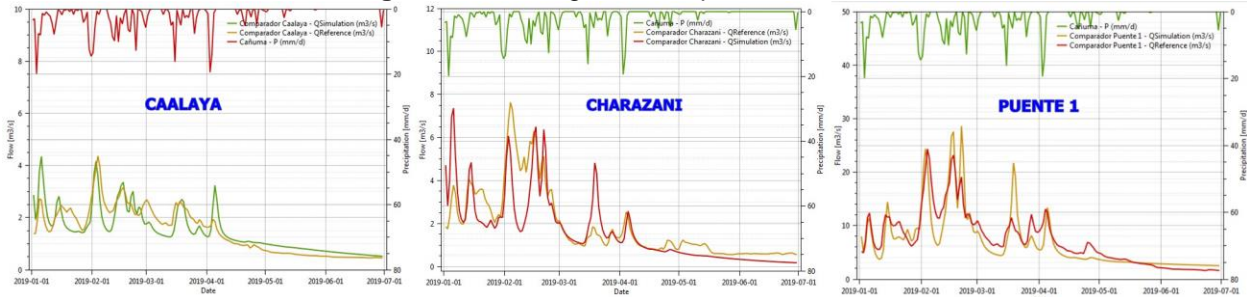
La Cuenca alta del río Camata, se encuentra ubicada en el departamento de La Paz en la provincia Bautista Saavedra Municipios de Curva y Charazani en la cordillera de Apolobamba El estudio se extiende desde las cabeceras de cuenca (15°00'30"S, 69°08'58"O, 5000 msnm) hasta 40 km aguas abajo (15°15'11"S, 68°56'22"O, 2770 msnm) con un área aproximada de 348 km².

Fig.9. Ubicación cuenca alta del río Camata



En la cuenca se instalaron cuatro estaciones hidrométricas en los ríos Caalaya, Curva, Charazani y en el Puente 1 a la salida de la cuenca y una estación meteorológica en la población de Curva. Se recabó información hidrometeorológica por el periodo de un año. Con la información recabada e información histórica proveniente de las estaciones meteorológicas de Charazani, Camata y Cañuma, se generaron caudales diarios empleando el software R.S. Minerve.

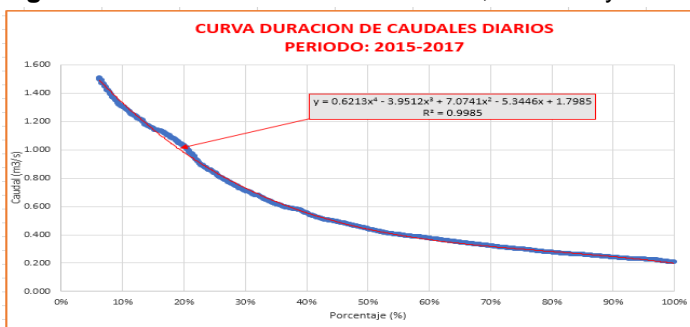
Fig. 10 Caudales generados por sub cuencas



En la figura 10 se observan los caudales generados en las sub cuencas de la cuenca alta del río Camata.

En la sub cuenca Caalaya, donde se ubicó la Pequeña Central Hidroeléctrica, para su diseño, se generó la Curva de Duración de Caudales y a partir de un estudio de crecidas se generaron los caudales de crecida para diferentes periodos de retorno empleando tres metodologías.

Fig. 11. Curva de Duración de Caudales, río Caalaya



La información hidrométrica generada en la cuenca, principalmente los caudales medidos en los ríos Caalaya, Charazani, Curva, y en la unión de estos en la estación Puente 1, constituyen información muy importante para la realización de proyectos de aprovechamiento de los recursos hídricos: proyectos de agua potable, riego y generación hidroeléctrica.

DISEÑO DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

La Pequeña Central Hidroeléctrica se diseñó sobre el río Caalaya en las proximidades de la población de Curva. Se trata de una central hidroeléctrica de derivación sin presa ni embalse, que cuenta con las siguientes obras componentes:

1. Obra de toma sobre el río Caalaya.
2. Tubería de aducción.
3. Desarenador cuya función es separar los sedimentos que entran por la toma.
4. Cámara de carga.
5. Tubería de presión.
6. Casa de máquinas.
7. Sub estación eléctrica de transformación.

En la figura 12 se muestra, sobre una imagen satelital la disposición de las obras de la central. El presupuesto general, asciende a la suma 2,293,156.94 US\$. Si consideramos la potencia instalada de 740 kW., el costo unitario asciende a la suma de 3,098 US\$/kW.

Fig. 12. Disposición de obras Pequeña Central Hidroeléctrica Caalaya



Tabla 4. Datos técnicos generales

Caudal de diseño Q	0.31 m ³ /s
Salto bruto H _b	279.36 m.
Salto neto H _n	272.35 m.
Potencia eje turbina P _e	779 KW
Potencia instalada P _i	740 KW
Factor de planta F _p	0.7
Energía anual generada E _a	4178.66 MWh/año

Fig. 13. Ubicación de la obra de toma



ESTUDIO DE POTENCIALES HIDROELÉCTRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CAMATA

Contando con los caudales de escurrimiento y los desniveles en la cuenca a partir de imágenes satelitales, se determinaron el Potencial Hidroeléctrico Teórico Bruto P.H.T.B., la Densidad del Potencial Hidroeléctrico Teórico Bruto y el Potencial Hidroeléctrico Técnico Aprovechable.

Con la información obtenida, se elaboraron mapas temáticos que permiten apreciar y cuantificar

estos indicadores en una escala de colores con sus correspondientes valores numéricos.

Fig. 14. Cuenca estudiada y sub cuencas

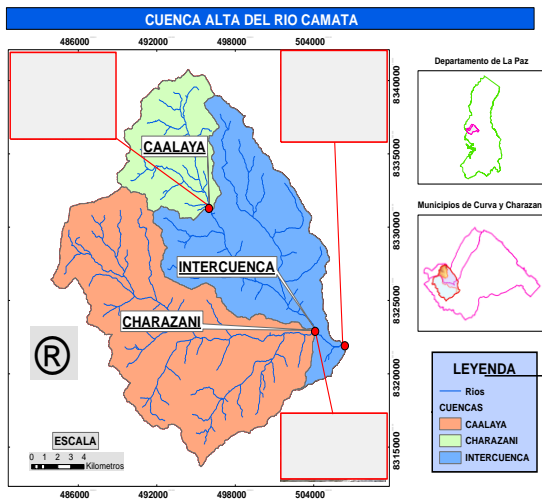


Fig. 15. Potencial Hidroeléctrico Teórico Bruto

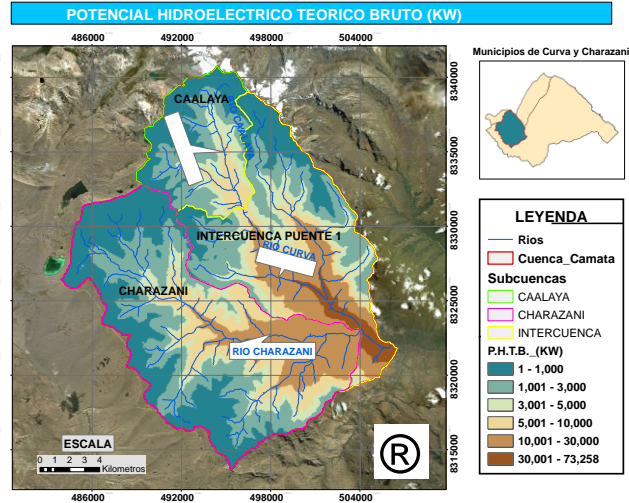


Fig. 16. Densidad del P.H.T.B.

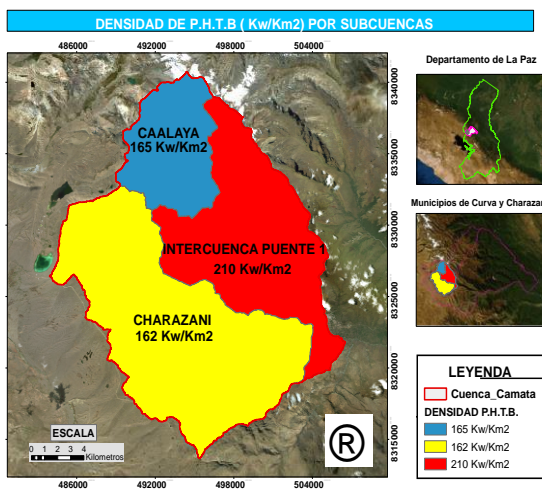
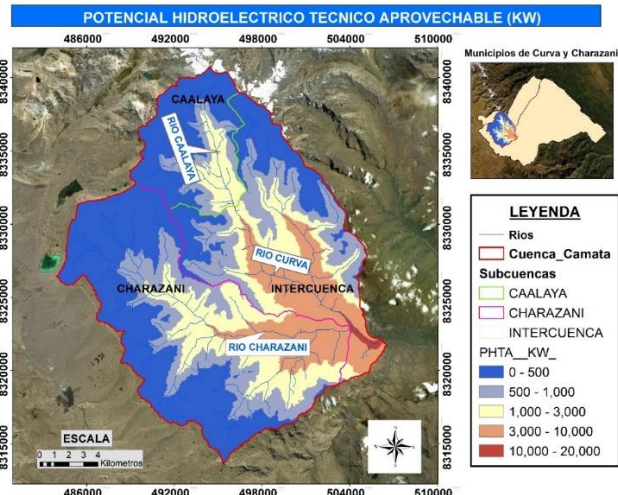


Fig. 17. Potencial Hidroeléctrico Técnico Aprovechable



5.3 EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROENERGÉTICO EN CUENCAS GLACIARES DE ALTA MONTAÑA BAJO CONDICIONES DE CAMBIO CLIMATICO

El proyecto se realizó en la comunidad de Cooco, Provincia Larecaja, municipio de Sorata, Departamento de La Paz a los pies del nevado Illampu.

ESTUDIO DE HIDROLOGÍA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO COOCO

Para realizar el estudio hidrológico, se instaló una red de monitoreo con estaciones hidrometeorológicas: una estación meteorológica instalada en la población de Cooco y cuatro hidrométricas en los ríos de la cuenca, monitoreando esta durante el tiempo de un año.

La información obtenida en la red de monitoreo e información histórica proveniente de la estación meteorológica de Sorata (periodo 1943 – 2019) permitieron obtener caudales diarios de escorrentía realizando un balance hídrico de la cuenca. En la cuenca del río Charituta, donde se

diseñó la Pequeña Central Hidroeléctrica, se elaboró la Curva de Duración de Caudales, necesaria para elegir el caudal de diseño de la planta y se realizó un estudio de caudales de crecida, necesario para diseñar la obra de toma de la planta hidroeléctrica.

Fig. 18. Cuenca alta del río Cooco

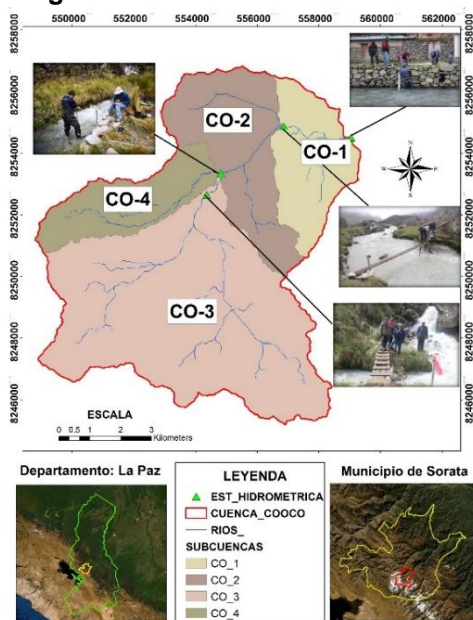


Fig.19. Hidrograma de caudales río Charituta

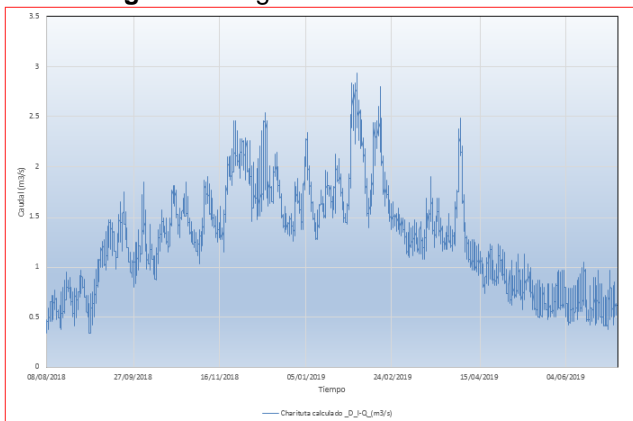


Tabla 5. Caudales de crecida río Charituta

Cuenca	Periodo de Retorno [T _r] [años]	Modelo SCS [m³/s]	Modelo WinTR-55 [m³/s]	Modelo HEC-HMS4.0 [m³/s]	Caudal de Diseño [m³/s]
Charituta	10	44.59	39.40	39.10	39.10
Charituta	25	58.09	50.62	51.00	51.00
Charituta	50	70.31	59.33	61.70	61.70

DISEÑO DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

La Pequeña Central Hidroeléctrica se diseñó sobre el río Charituta. La central, en forma similar a las anteriores es una central de derivación sin presa ni embalse y cuenta con las siguientes obras componentes:

1. Obra de toma tipo azud derivador
2. Desarenador, necesario para decantar los sedimentos que ingresan por la bocatoma.
3. Cámara de carga.
4. Tubería de presión
5. Casa de máquinas donde se instalará el equipo de generación hidroeléctrico.
6. Equipo de generación hidroeléctrico con turbina Pelton.
7. Subestación eléctrica de transformación de elevación.

Fig. 20. Disposición de obras elaborado sobre una imagen satelital

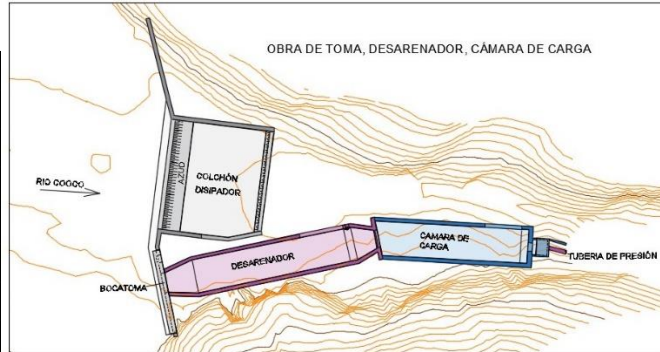


La disposición de obras muestra que esta central carece de una obra de aducción. Como parte de la obra de toma se han diseñado el desarenador y la cámara de carga.

Tabla 6. Datos técnicos generales

Caudal de diseño Q	0.65m ³ /s
Salto bruto H _b	455.62 m.
Salto neto H _n	440 m.
Potencia eje turbina P _e	2637 KW
Potencia instalada P _i	2505 KW
Eficiencia máxima turbina	0.94
Eficiencia máxima generador	0.95
Energía anual generada	14701 MWh/año

Fig. 21. Obra de toma, desarenador, cámara de carga



En la tabla 6 se muestra que la central cuenta con alta caída, 440 m. de salto neto y la potencia a obtener es de 2.5 MW. La figura 21 muestra la planta de la obra de toma tipo azud derivador, se aprecia que se ha reemplazado el tradicional desgravador de toma por un desarenador que vierte sus aguas libres de sedimentos, directamente en la cámara de carga de donde parte la tubería de presión.

ESTUDIO DE POTENCIALES HIDROELÉCTRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO COOCO

Los indicadores adoptados para la determinación del potencial hidroeléctrico en la cuenca, fueron el Potencial Hidroeléctrico Teórico Bruto P.H.T.B., la Densidad del P.H.T.B. y el Potencial Hidroeléctrico Técnico Aprovechable P.H.T.A., siendo este último más factible técnicamente de implementar. Con los resultados obtenidos se elaboraron mapas temáticos de potenciales.

Fig. 22. Potencial Hidroeléctrico Bruto P.H.T.B.

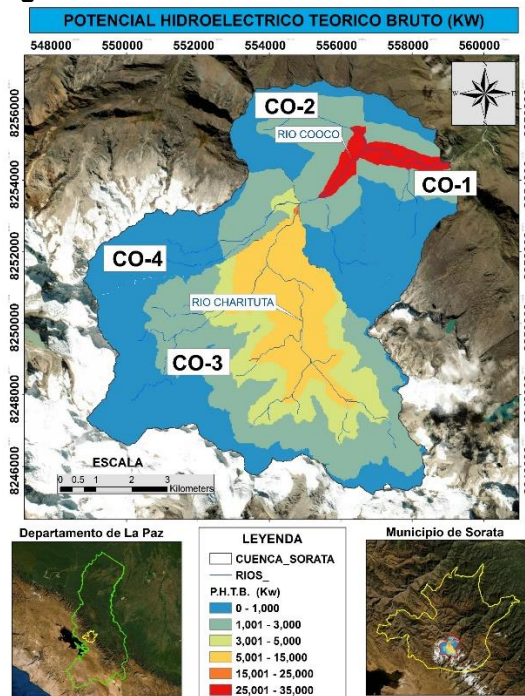


Fig. 23. Densidad del P.H.T.B

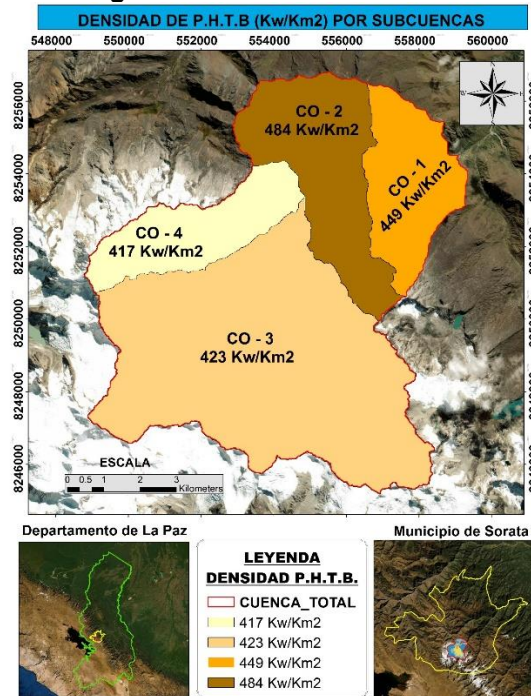
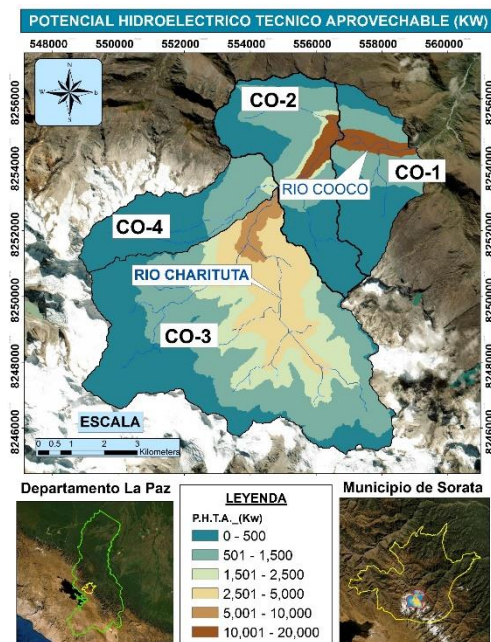


Fig. 24. Potencial Hidroeléctrico Técnico Aprovechable P.H.T.A.



El P.H.T.B. es un valor teórico que considera que todo el caudal de escurrimiento se aprovechará únicamente para fines de generación. No considera una serie de pérdidas que se producen en las centrales hidroeléctricas ni limitaciones topográficas, geológicas y socioeconómicas que puedan existir. Este indicador es válido para estimar la calidad de la cuenca para su explotación hidroenergética en comparación con otras evaluadas similarmente.

El P.H.T.A. que se calcula aplicando al P.H.T.B. factores de reducción relacionados con la Densidad, es más factible de implementar técnicamente, aunque supone también que todo el caudal disponible se utilizará para la producción de energía y no considera otras limitaciones. El P.H.T.A es un indicador más cercano a la realidad que el P.H.T.B.

6. RESULTADOS OBTENIDOS

ESTUDIOS DE HIDROLOGÍA

En los tres proyectos, a partir de los estudios hidrológicos realizados se puede puntualizar los siguientes resultados obtenidos:

- Se han instalado redes hidrometeorológicas compuestas por estaciones hidrométricas y meteorológicas en áreas donde la información, principalmente hidrométrica era inexistente. Esta información permite conocer mejor el comportamiento hidrológico de estas regiones.
- La información de caudales de escorrentía obtenidos en los ríos constituye información muy útil para futuros diseños de proyectos de aprovechamiento de los recursos hídricos en la zona: proyectos de riego, agua potable, generación hidroeléctrica.
- Las cuencas estudiadas constituyen parte de las nacientes de la gran cuenca del Beni, por lo que estos estudios pueden aportar en futuros estudios en esta gran cuenca, donde la información hidrológica es escasa.

PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS PCHs

Las tres pequeñas centrales hidroeléctricas diseñadas: Macara en Pelechuco, Caalaya en Curva y Cooco en Sorata, sobre el río Macara, afluente del río Pelechuco en el municipio de Pelechuco, Caalaya sobre el río Caalaya, afluente del río Curva en el municipio de Curva y Cooco sobre el río Charituta que aguas abajo se convierte en río Cooco, en el municipio de Sorata, han sido diseñadas en base a los estudios hidrológicos realizados lo que garantiza la apropiada elección de los caudales de diseño. Estas plantas cuentan con las siguientes características técnicas generales y costos:

Tabla. 7. Características técnicas y costos de inversión

Proyecto	Ubicación	Caudal de diseño (m ³ /s.)	Salto neto (m.)	Potencia instalada (KW.)	Energía anual (MWh/año.)	Costo total (\$us.)	Costo unitario (\$us/KW.)
PCH Pelechuco	Pelechuco	0,74	309,21	2.000	12.118	4.027.596	2.014
PCH Macara	Curva	0,31	272,35	779	3.098	2.293.157	3.098
PCH Cooco	Sorata	0,65	440,00	2.505	14.701	4.304.317	1.718

Todas las centrales cuentan con estudios topográficos, estimaciones geológicas, estudios geotécnicos, estudios de instalaciones y sub estaciones eléctricas, estudios estructurales, estudios de costos y presupuestos, especificaciones técnicas, estudios socioeconómicos y de factibilidad económica y elaboración de planos constructivos detallados.

ESTUDIO DE POTENCIALES HIDROELÉCTRICOS

En las tres cuencas delimitadas, se han elaborado mapas temáticos de potenciales hidroeléctricos. Los mapas muestran la distribución geográfica de los potenciales en base a colores que corresponden numéricamente a escalas de potenciales. Estos mapas, nos permiten establecer en forma específica la potencialidad de estas regiones en relación a la generación hidroeléctrica muy importantes para su futuro desarrollo en este campo.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La información hidrológica obtenida con las redes hidrometeorológicas instaladas es muy valiosa debido a que estas zonas no cuentan con información hidrométrica de los ríos, y existen escasas estaciones meteorológicas, Los datos meteorológicos recabados, mostraron que algunas estaciones meteorológicas existentes cuentan con información de dudosa calidad.

El estudio hidrométrico de caudales de los ríos, utilizando sensores electrónicos de nivel y aforos regulares de caudal, permitieron calibrar curvas de descarga de estos ríos, las que permiten estimar el caudal en base a el nivel de agua existente. Esta técnica es confiable y permitió conocer el comportamiento hídrico del río, en el periodo estudiado.

El diseño de las PCHs muestra que las centrales de Macara y de Cooco tienen potencias instaladas mayores: 2000 KW y 2505 KW respectivamente y la de Caalaya solo 740 KW. Esto se debe al menor salto y caudal de esta última central.

Estudios a nivel mundial en centrales hidroeléctricas muestran que un intervalo de costos óptimo es: 1.000 a 3.000 US\$/KW cuanto menor es la central mayor el costo unitario. Las centrales de Macara y Cooco tienen costos muy interesantes: 2.014 \$us/kW. y 1.718 \$us/kW. y la de Caalaya con 3.098 \$us/kW. muy cerca del rango óptimo.

El indicador que permite comparar efectivamente la calidad de las cuencas en cuanto a su potencial hidroenergético es la Densidad. Las cuencas de Pelechuco y Sorata con 544 kW/km² y 484 kW/km² muestran densidades cercanas y la de Camata con 210 kW/km² comparativamente menor que la mitad. Este factor es importante para la toma de decisiones en cuanto a la planificación del desarrollo hidroenergético de la región.

8. CONCLUSIONES

Los estudios hidrológicos realizados en las tres cuencas estudiadas, constituyen un aporte al conocimiento hidrológico de estas zonas anteriormente no estudiadas. La información de campo

recabada, principalmente hidrométrica, es muy valiosa para la realización de futuros proyectos de aprovechamiento de los recursos hídricos en la zona.

Las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas diseñadas, constituyen alternativas, a nivel general en el desarrollo de la energía hidroeléctrica en pequeña escala en el país y para los Gobiernos Autónomos Municipales de la zona, en estudios de base para lograr su futura implementación.

El estudio de potenciales hidroeléctricos muestra valores altos en las cuencas altas de Pelechuco y Cooco confirmando estudios generales de potenciales realizados en Bolivia. La cuenca alta de Camata, de menor valor, es también muy interesante con relación a otras regiones.

Esta experiencia, ha permitido cerrar el círculo Ciencia – Tecnología – Sociedad a partir de la investigación científica de las condiciones hidrometeorológicas y los potenciales hidroeléctricos de las zonas estudiadas, el diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas y la transferencia y apropiación por parte de los municipios beneficiarios.

9. BIBLIOGRAFÍA

Belmonte, S., Viramonte, J., Nuñez, V., Franco, J., 2007. Estimación del Potencial Hidráulico para Generación de Energía Eléctrica por Microturbinas mediante Herramientas sig - valle de Ierma (Salta).. AVEREMA, p. 8.

CAF Banco de Desarrollo de América Latina, 2018. *caf.com/noticias/10 nuevos proyectos hidroeléctricos podrían generar 1500 mw en bolivia*. [En línea]

Available at: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2018/07/10-nuevos-proyectos-hidroelectricos-podrian-generar-1500-mw-en-bolivia-segun-estudio-de-caf/>

Hall, D. y. C., 2003. *Estimation of economic parameters of U.S. hydropower resources. United States*. [En línea]

Available at: <https://www1.eere.energy.gov/water/pdfs/doewater-00662.pdf>

Monroy Cuellar, J. L. ,. M. G. E., 2015. *Hidrogenación en Pequeña Escala Una Experiencia Local Programa Hidroenergético*. La Paz Bolivia: ESPRIT S.R.L..

Muguerza, D., 2003. *Microcentrales Hidroeléctricas*. [En línea]

Available at: <http://www.exa.unne.edu.ar/fisica/maestria/modulo2/microturbinas/apuntemch.pdf>

NASA, 2006. [En línea]

Available at: <http://srtm.usgs.gov>

Ruths, G., 1990. *Planificación Energética Rural para Bolivia, Organización de Estados Americanos OEA, Ministerio de Energía e Hidrocarburos*, La Paz, Bolivia: s.n.

Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas VMEEA, 2020. *Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas*. [En línea]

Available at: <https://www.minenergias.gob.bo/wp-content/uploads/2019/10/VMEEA.pdf>