



Proyecto multipropósito: energía, agua y producción para La población originaria de Mojos”

Multipurpose project: energy, water and production for the original population of Mojos”

Marcelo Israel Leyva López
israeleyva.15@gmail.com
Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia

Artículo recibido septiembre 2018 | Arbitrado en octubre 2018 | Publicado en enero 2019

RESUMEN

La población de Mojos actualmente ocupa un lugar de asentamiento que carece de los servicios básicos como ser de un sistema de energía y de un sistema de agua potable. El proyecto tiene como multipropósito cubrir las demandas de energía eléctrica doméstica y no doméstica, como también la demanda de agua potable. Para realizar el estudio se recolectó información de los aspectos físicos naturales de la región, así como también se pudo recolectar gran cantidad de datos de instituciones y estudios realizados cercanos al lugar, obteniendo así datos meteorológicos, topográficos, hidrográficos. Se concluye que la implementación de la microcentral hidroeléctrica será la alternativa más viable, debido a que no demanda una gran inversión, además que la construcción y el funcionamiento de ésta no presenta daños para el medio ambiente.

Palabras clave: Proyecto multipropósito; energía; agua potable, calidad de vida

ABSTRACT

The population of Mojos currently occupies a settlement place that lacks basic services such as an energy system and a potable water system. The project is multipurpose to cover the demands of domestic and non-domestic electrical energy, as well as the demand for drinking water. To carry out the study, information on the natural physical aspects of the region was collected, as well as a large amount of data from institutions and studies carried out near the place, thus obtaining meteorological, topographic, hydrographic data. It is concluded that the implementation of the hydroelectric power station will be the most viable alternative, since it does not demand a large investment, in addition to the fact that its construction and operation do not present any damage to the environment.

Key words: Multipurpose project; energy; drinking water, quality of life



INTRODUCCIÓN

Debido a que la población de Mojos-Soriani carece de un sistema de energía eléctrica y de un sistema de agua potable. Se plantea la concepción de un sistema hidráulico-sanitario para satisfacer estas necesidades. Para la modalidad de ejecución de este proyecto se implementará el uso de tecnología no convencional, y se hará empleo de material local y mano de

obra del lugar para reducir los costos del proyecto. Todos estos factores hacen viable este tipo de proyectos de desarrollo económico – social.

En cuanto a la descripción del modelo de proyecto, una vez establecida la viabilidad del proyecto, se plantea el siguiente sistema hidráulico – sanitario (Figura 1).

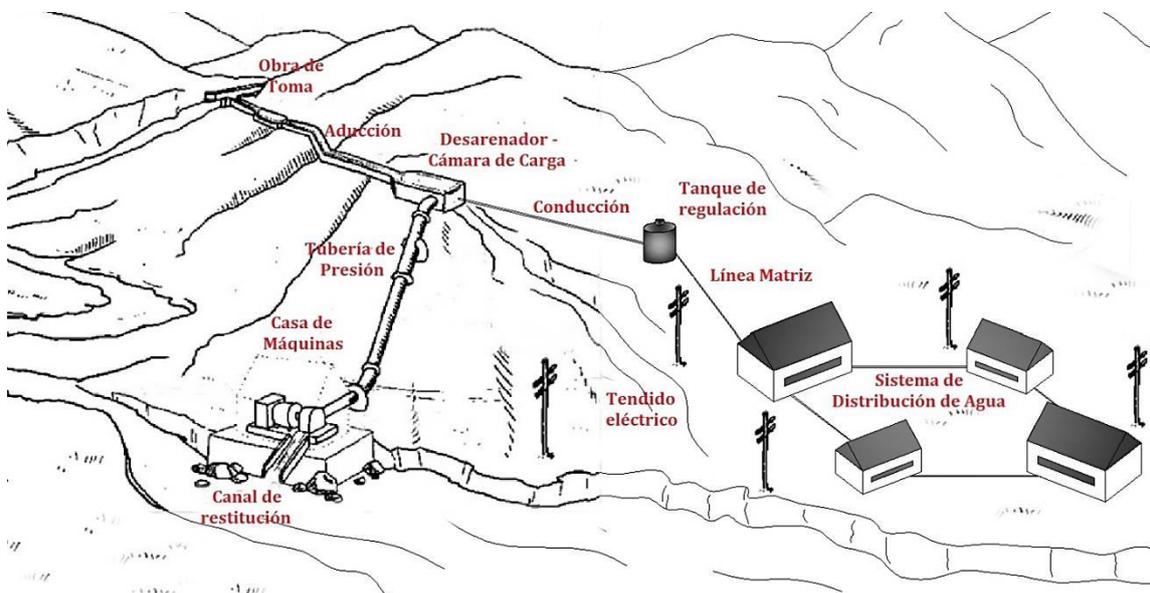


Figura 1. Esquema del sistema hidráulico-sanitario

En la Figura 1 se puede observar el esquema de todas las obras civiles, eléctricas y electromecánicas, para el sistema de energía hidráulica y el sistema de distribución de agua. A continuación se explica brevemente como se distribuirá. (Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas, 1985)

La población de Mojos actualmente ocupa un lugar de asentamiento que carece de los servicios básicos como ser de un sistema de energía y de un sistema de agua potable. Lo cual dificulta el desarrollo

de la población, por consiguiente la migración de sus habitantes a otros lugares.

Por lo que el acceso a la energía permitirá que la población tenga mejor comunicación, ya que los habitantes del lugar sabiendo que contarían con este servicio; solicitaron mediante el Programa de Teleeducación Rural la construcción de un Telecentro para la comunicación vía internet mediante el satélite Túpac Katari (TKSAT-1).

En el aspecto energético:



La demanda de energía de 16 [kW] para los años 2016 – 2036 llegará a ser cubierta con la ejecución de la microcentral hidroeléctrica de Mojos.

El estudio de la demanda de energía muestra un comportamiento variable de la potencia requerida, con un gran pico de demanda en horas de la tarde, producto de la demanda industrial o no doméstica que se tiene provisto implementar mediante talleres y servicios públicos para apoyar las actividades productivas.

Para el sistema de energía:

Obra de toma. El diseño de las obras de captación es muy importante para derivar parte del agua del río hacia la planta. La elección de la obra de captación en campo debe satisfacer todas las condiciones de seguridad necesarias. Así también el lugar de emplazamiento debe proporcionar la cantidad y calidad de agua requerida, se debe realizar un diseño que armonice con la topografía del lugar. La captación se hará mediante una rejilla instalada en uno de los muros de protección del azud. (Krochin, 1978).

Obras de conducción. Las obras de conducción permitirán transportar el agua desde el río hasta el comienzo de la tubería de presión, con un mínimo de pérdidas de carga. Para el proyecto se adoptará la aducción de tuberías de PVC enterradas. Esto debido a la dificultad de transporte de agregados u otro tipo de materiales al lugar de emplazamiento. El empleo de una tubería de PVC también evitará la inclusión de material granular a las obras de conducción. (Krochin, 1978).

Desarenador – Cámara de carga. El diseño del desarenador permite sedimentar

la gran mayoría de las partículas de arrastre para luego evacuarlos por una tubería de limpieza. A continuación del desarenador se encuentra la cámara de carga que contará con una rejilla que evite el ingreso del material flotante restante, para luego conducir el agua captada a la tubería de presión. (Krochin, 1978).

Tubería de presión. Así como la tubería de aducción, la tubería de presión será de PVC. Para minimizar la vibración en la tubería, se colocará anclajes y apoyos intermedios de hormigón en todo el tramo. (Krochin, 1978).

Casa de máquinas. En la casa de máquinas se emplazará el equipo electromecánico. Así también este ambiente debe tener un canal de restitución para devolver las aguas turbinadas nuevamente al río. (Krochin, 1978).

Equipo electromecánico. El equipo electromecánico cuenta con la turbina, el generador, el tablero de control y el controlador. (Krochin, 1978).

En cuanto al sistema de distribución de agua:

Conducción. La conducción es la tubería que conduce el agua desde la captación hasta un sistema regulador. Se plantea que la conducción del sistema de agua potable partirá desde la cámara de carga hasta el tanque de regulación. (Krochin, 1978).

Tanque regulador. Se plantea que el tanque regulador de este proyecto sea de material de plástico, debido a la dificultad de trasladar grandes cantidades de cemento y agregado (Krochin, 1978).



Línea matriz. Es la tubería que une el tanque regulador con la red de distribución de agua (Krochin, 1978).

Red de distribución de agua potable. Son las tuberías que se encargan de distribuir el agua a toda la población beneficiada (Krochin, 1978).

El proyecto tiene como multipropósito planteado cubrir las demandas de energía eléctrica doméstica y no doméstica, como también la demanda de agua potable.

METODOLOGÍA

Para realizar el estudio se recolectó información de los aspectos físicos naturales de la región, así como también se pudo recolectar gran cantidad de datos de instituciones y estudios realizados cercanos al lugar, obteniendo así datos meteorológicos, topográficos, hidrográficos, entre otros. El análisis de consistencia mediante el método de las curvas doble acumuladas del registro pluviométrico de las estaciones en el municipio de Apolo, descartó las estaciones de Pata y Aten, sin embargo confirma que la estadística de la estación de Apolo A.A.S.A.N.A. es consistente y confiable.

Los caudales medios mensuales de la cuenca de Mojos fueron generados con datos de caudales aforados de la cuenca de Rurrenabaque, ya que esta cuenca presenta características fisiográficas, altitudinales, climáticas, meteorológicas similares. Para este proceso se tomó en cuenta el método del modelo del Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas. Así también se comparó con los registros de aforos medidos en el lugar, los cuales fueron similares a los simulados por CEDEX, (2004)

Para el cálculo de la evapotranspiración se realizó una corrección por temperatura,

ya que este parámetro es muy sensible a la temperatura (Sánchez, 2001).

Se determinó la construcción de un reservorio que permita almacenar agua en las épocas secas que se presenten, para que el sistema pueda trabajar constantemente.

Para determinar el volumen del reservorio se hizo un análisis con las demandas picos diarios, para así garantizar el funcionamiento óptimo de la microcentral hidroeléctrica.

La oferta de agua está asegurada con la implementación del reservorio de agua por lo que juntamente con los caudales existentes se asegura la provisión de agua para los fines propuestos.

Obras hidráulicas

El Proyecto Multipropósito aprovecha las aguas del arroyo Soriani, desviando parte del caudal hacia las obras de captación, conducción, presión y distribución. (Chow, 1994).

La ubicación de las obras civiles se determinó mediante visitas a campo y también con referencia de mapas digitales, entre otros.

Las obras civiles armonizan con las condiciones naturales.

El suelo donde se fundará el azud derivador es de formación de roca aflorante, por tanto tiene una alta capacidad portante.

Se adoptó tanto como para la aducción y la tubería de presión que las tuberías sean de PVC, por la dificultad que presenta el traslado de bolsas de cemento para la construcción de un canal de conducción.

Se propone el uso de tecnología y empleo de materiales locales, mano de obra local; ya que esto permite que los costos reduzcan significativamente.

El trazado del eje de las tuberías se realizó previa ubicación de la obra de



toma, cámara de carga, casa de máquinas, tanque de almacenamiento y red de distribución.

De acuerdo al espacio y la topografía del lugar se adoptaron las dimensiones para el componente Desarenador – Cámara de Carga. Así también se dispuso que la cámara de carga no solo derivara agua a la tubería de presión, sino también al sistema de abastecimiento de agua potable (Guía para la desinfección del agua para consumo en sistemas rurales de abastecimiento de agua por gravedad y bombeo, s/f).

Se aprovechó la gran caída entre la cámara de carga y la casa de máquinas para la generación de energía.

Se determinó el uso de la Turbina tipo Pelton, debido al pequeño caudal que existe y la gran altura de caída que se tiene presente.

Abastecimiento de agua potable

Se determinó que el sistema de abastecimiento de agua inicie desde la cámara de carga mediante una tubería de succión. Aprovechando las obras de captación y aducción de la microcentral hidroeléctrica. (Guía para la desinfección del agua para consumo en sistemas rurales

de abastecimiento de agua por gravedad y bombeo, s/f).

Para cubrir la demanda de agua potable de la población y tomando en cuenta la zona geográfica se adoptó una dotación inicial de 70 [lt/hab-día].

Los resultados de los Análisis Bacteriológico, Físico – Químico del agua captada del sitio concluyeron que no es necesario la instalación de un sistema de tratamiento para el agua.

Para el sistema de distribución de agua se adoptó una red cerrada, la cual se acomodaba mejor en la población.

Se adoptó un valor mínimo de diámetro de $\frac{3}{4}$ " para el sistema de agua. Siendo 1" el valor mínimo de diámetro para poblaciones pequeñas sugerido por la norma. Pero consultando con personal experimentado, se eligió un diámetro menor.

Diseño de obras civiles

Obra de toma

El diseño de la obra de toma cuenta con los siguientes componentes: Azud derivador, bocatoma, desgravador, compuerta de limpieza y colchón disipador.

Para el cálculo y diseño de la obra de toma, son necesarios los siguientes datos:

| | | | | |
|----------------------------------|----------------|-------|---------------------|-------|
| Caudal de Diseño: | $Q_d =$ | 0.040 | [m ³ /s] | (*) |
| Caudal de Crecida: | $Q_{crec} =$ | 17.6 | [m ³ /s] | (*) |
| Ancho del Río: | $B_{río} =$ | 2.3 | [m] | (**) |
| Pendiente del cauce: | $S_{río} =$ | 0.303 | [m/m] | (*) |
| Rugosidad del río: | $n_{río} =$ | 0.04 | [adim] | (***) |
| Rugosidad del Hormigón Ciclópeo: | $n_{H^{c}e} =$ | 0.013 | [adim] | |
| Aceleración de la gravedad: | $g =$ | 9.81 | [m/s] | |
| Cota del lecho río: | Cota lecho = | 1157 | [m.s.n.m.] | (*) |

(*) Estos datos fueron determinados anteriormente en los estudios básicos y también con la ayuda de softwares específicos.

(**) Estos datos fueron medidos en campo, en las visitas realizadas.

(***) Este dato es adoptado de la Tabla 1.



Tabla 1. Coeficientes de Manning para corrientes naturales, cunetas y canales

| Coeficientes de Manning para cunetas, canales y corrientes naturales | |
|---|-------------|
| Corrientes naturales | |
| Orillas rectas y fondo uniforme | 0.027-0.033 |
| Orillas rectas, fondo uniforme, algo de vegetación | 0.033-0.040 |
| Meandros, embalses y remolinos de poca importancia | 0.035-0.050 |
| Orillas rugosas, corrientes en terreno rocoso | 0.050-0.080 |
| Canales sin revestir | |
| Tierra ordinaria, superficie uniforme | 0.020-0.025 |
| Tierra ordinaria, superficie irregular | 0.025-0.035 |
| Tierra con ligera vegetación | 0.035-0.045 |
| Tierra con espesa vegetación | 0.040-0.050 |
| En roca, superficie uniforme | 0.030-0.035 |
| Canales revestidos | |
| Paredes de hormigón, fondo de grava | 0.017-0.020 |
| Encachado | 0.020-0.030 |
| Hormigón revestido | 0.016-0.022 |
| Hormigón | 0.013-0.017 |

Fuente. S.M. Woodward and J. Posey, *Hydraulics of steady flow in open channes.*

Canal de aducción

Para el canal de aducción se tomará en cuenta que el sector de emplazamiento es susceptible a posibles desprendimientos de material fino por parte del cerro y hojas por parte de las plantas.

Con estas consideraciones se opta colocar una tubería para el tramo de aducción, así también el material del que

estará constituida será de PVC, por su facilidad de transporte ya que es difícil el acceso al lugar de emplazamiento. Esta tubería estará enterrada para evitar el deterioro debido a la radiación solar y el ingreso de partículas finas y gruesas a la conducción del agua.

Para estimar el diámetro de la tubería de la aducción, revisamos la Tabla 2:

Tabla 2. Diámetro de la conducción

| Diámetro de la conducción (m) | Diámetro Nominal | | Serie |
|-------------------------------|------------------|-----|-------|
| | [plg] | [m] | |
| 4 | 0.10 | 20 | |
| 6 | 0.16 | 20 | |
| 8 | 0.20 | 20 | |
| 6 | 0.16 | 25 | |
| 8 | 0.20 | 25 | |
| 10 | 0.25 | 25 | |

Fuente. Manual de Energías renovables, Minicentrales Hidroeléctricas, “Instituto para la diversificación y ahorro de energía (2006).



Según Sotelo Ávila, la velocidad permisible en tuberías de PVC:

Velocidad máxima permisible: $v_{m\acute{a}x} = 5.00$ [m/s]

Velocidad máxima permisible: $v_{m\acute{i}n} = 0.30$ [m/s]

Para obtener las características hidráulicas de la tubería de aducción, se realizó un análisis mediante el software "Hcanales" ingresando datos de partida para obtener los resultados de la Figura 2.

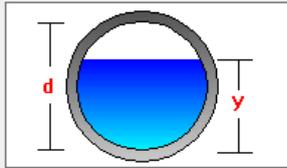
| | | |
|--|---|---|
| Lugar: <input type="text" value="Mojos - Soriani"/> | Proyecto: <input type="text" value="MCH Mojos"/> |  |
| Tramo: <input type="text" value="Aducción"/> | Revestimiento: <input type="text" value="PVC"/> | |
| Datos: | | |
| Caudal (Q): | <input type="text" value="0.04"/> | m ³ /s |
| Diámetro (d): | <input type="text" value="0.16"/> | m |
| Rugosidad (n): | <input type="text" value="0.008"/> | |
| Pendiente (S): | <input type="text" value="0.02"/> | m/m |
|  | | |
| Resultados: | | |
| Tirante normal (y): | <input type="text" value="0.1260"/> | m |
| Área hidráulica (A): | <input type="text" value="0.0170"/> | m ² |
| Espejo de agua (T): | <input type="text" value="0.1309"/> | m |
| Número de Froude (F): | <input type="text" value="2.0870"/> | |
| Tipo de flujo: | <input type="text" value="Supercrítico"/> | |
| Perímetro mojado (p): | <input type="text" value="0.3494"/> | m |
| Radio hidráulico (R): | <input type="text" value="0.0486"/> | m |
| Velocidad (v): | <input type="text" value="2.3548"/> | m/s |
| Energía específica (E): | <input type="text" value="0.4086"/> | m-Kg/Kg |

Figura 2. Características hidráulicas de la tubería de aducción. **Fuente.** Elaboración propia con el programa "Hcanales".

Desarenador - Cámara de darga

Para microcentrales hidroeléctricas se plantea el diseño del desarenador y la cámara de carga en una sola estructura. (Revista Tecnología, Investigación y Docencia, 2016)

Tubería de presión

Para el proyecto múltiple Microcentral Hidroeléctrica de Mojos se escogerá una tubería de PVC, debido a la dificultad del transporte al sitio de emplazamiento, ya que este material es más liviano y fácil de transportar. Según la ESHA, la tubería de PVC resulta muy competitiva en alturas de salto hasta 200 metros además de que no requiere de ninguna protección contra la corrosión.

Casa de máquinas

La casa de máquinas estará ubicada más abajo de la población de Mojos, porque el canal de restitución debe estar situado cercano al río Tuichi para devolver las aguas turbinadas.

Debido a la dificultad de transporte de materiales hasta el sitio de proyecto se aprovechará los materiales locales como la madera, para la construcción de la casa de máquinas. Sin embargo, el piso se lo hará de hormigón para dar estabilidad a la carcasa de la turbina, como también impermeabilizar y evitar la humedad que podría dañar los componentes internos de la casa de máquinas.



Reservorio de agua

En la sección 4.2.3.2 del capítulo de Estudios Básicos se determinó un volumen de reserva para cubrir los picos de energía que demanda la población de Mojos. Por tanto se determinó que el volumen del reservorio de agua necesario es:

$$V_{\text{reservorio}} = 106128[\text{lt}] = 106.128[\text{m}^3]$$

Sistema de distribución de agua

Para el proyecto se adoptará un sistema de abastecimiento de agua potable por gravedad sin tratamiento, que no requiere de la construcción de estructuras complicadas de conducción y distribución

(Guía para la desinfección del agua para consumo en sistemas rurales de abastecimiento de agua por gravedad y bombeo, s/f). Siendo que se aprovecharán las estructuras de captación y aducción del diseño de la microcentral hidroeléctrica. Por tanto, el sistema de distribución de agua partirá desde la cámara de carga por un tubo de succión que conducirá el agua hasta el tanque de regulación, para luego ser distribuido por la red.

Para el diseño de todo el sistema de distribución de agua se tomará en cuenta los datos de la Tabla 3, previamente calculados en el capítulo de “Estudios Básicos”.

Tabla 3. Parámetros para el diseño del sistema de agua

| Parámetros de Cálculo | | Unidad | Valor |
|-----------------------|----------|------------|-------|
| Población Futura | P_f | hab | 131 |
| Período de Diseño | t | años | 20 |
| Dotación Final | D_f | lt/hab-día | 92 |
| Caudal Medio | Q_m | lt/s | 0.138 |
| Caudal Máximo Diario | Q_{md} | lt/s | 0.207 |
| Caudal Máximo Horario | Q_{mh} | lt/s | 0.304 |

RESULTADOS

Producción

Producción actual en la población de mojos

Debido a que el acceso a la población de Mojos presenta muchas dificultades, un 90% de los productos que son cosechados en este sector son para el autoconsumo de los propios habitantes del lugar, y sólo un 10% es llevado al comercio.

Mecanización de la producción

Como se planteó en el desarrollo del estudio sobre los “Estudios Básicos”, es necesario que la población tenga acceso a la energía eléctrica y agua potable, esto dará paso a encontrar nuevas actividades productivas, ya sea implementando talleres o mecanizar los procesos productivos. En el Gráfico 1 se puede observar que durante el día la energía puede ser aprovechada para tal objetivo.

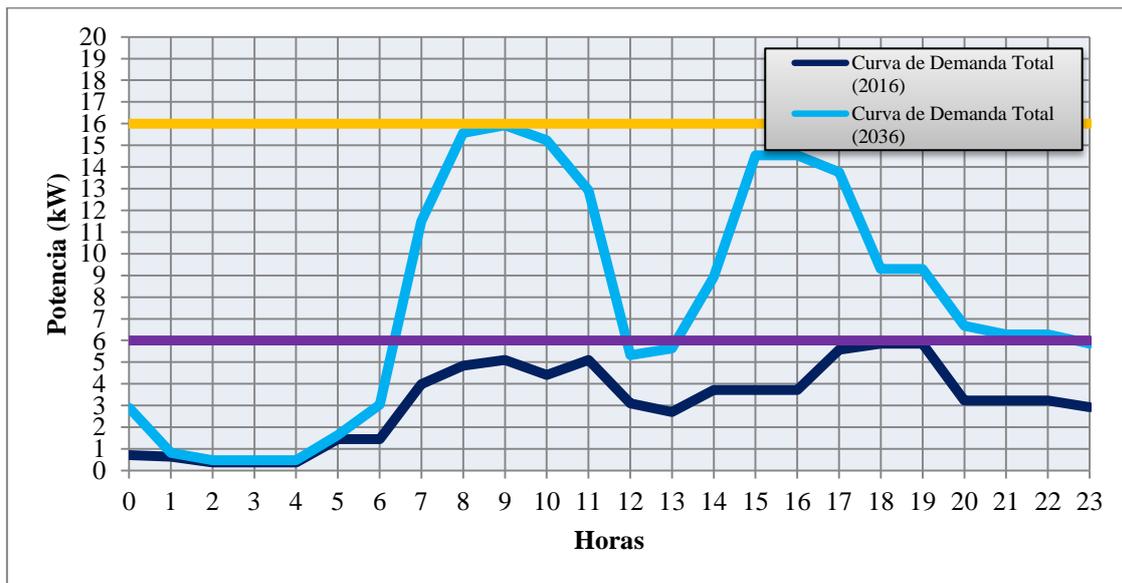


Gráfico 1. Curva de Carga Horaria Total. (Fuente: Curva de Duración de Caudales, s/f).

Planteamiento de desarrollo de la producción

Se plantea apoyar un proceso productivo con la idea de que la población haga el uso de la energía y el agua para procesar sus productos y así ser comercializados en el mercado de Apolo, por consecuente generar ingresos extras.

Se identifican dos tipos de actividades productivas, de las cuales se podría mecanizar sus procesos productivos, ya sea implementando equipos eléctricos o sistemas de micro riegos para pequeñas huertas. Estas dos propuestas planteadas son el proceso mecanizado del arroz y el proceso mecanizado de los derivados de la yuca.

- **Peladora de arroz.** Como se pudo ver el proceso manual de producción del arroz es muy tedioso y deficiente, con la implementación de una máquina peladora de arroz este proceso se podría acelerar y por ende aumentar la producción de arroz.
- **Derivados de la yuca.** El procesamiento de la yuca se presta a la mecanización de

diversos productos, como pedacitos secos, almidón y mandioca o harina de yuca. Los pedacitos secos son producidos por una picadora, que generalmente consta de una gran rueda vertical con dientes gruesos o cuchillas en la superficie contra los que se sostiene la raíz de yuca a fin de cortarla en trozos de tamaño adecuado para luego secarlos. La producción de mandioca también dispone de máquinas especializadas. Los cultivos se lavan, pelan, raspan, presan para eliminar el agua, tuestan, tamizan y envasan. Esta producción se puede ver multiplicada en forma significativa con diversas herramientas y equipos poco complejos. Las partículas de polvo se eliminan al lavar el producto con agua corriente, y las raíces se limpian manualmente.

En la región de Apolo así como en el oriente es común aprovechar la yuca para la elaboración del Chive.

El Chive es una bebida típica de Bolivia, elaborada a base de harina de yuca tostada, cuya elaboración consta de: Rallar finamente



la yuca una vez cosechada, a continuación se deja en un recipiente enlozado para su fermentación hasta el día siguiente y luego se la extiende al sol, hasta que seque. Una vez seca se la cierne, se la retuesta y la parte gruesa se la desecha. Esta bebida se la sirve con agua y azúcar.

Como recomendación, sería ideal hacer un plan de negocios para ver la factibilidad y la sostenibilidad de estos emprendimientos productivos.

Análisis de costos y presupuestos

Análisis de precios unitarios

Para un análisis adecuado de los costos y presupuesto, se realiza un análisis de los

precios unitarios para cada uno de los componentes del proyecto multipropósito. Tomando en cuenta los precios vigentes en el pueblo de Apolo, Así también precios dados por la página de Insucons Bolivia.

Para el análisis de precios unitarios no se tomará en cuenta las incidencias sobre impuestos a la utilidad, impuestos a las transacciones y beneficios sociales; debido a que el proyecto es financiado externamente.

Para determinar el costo del equipo de generación se utilizará el Gráfico 2 propuesto por Monroy (2015).

Costo referencial del equipo de generación

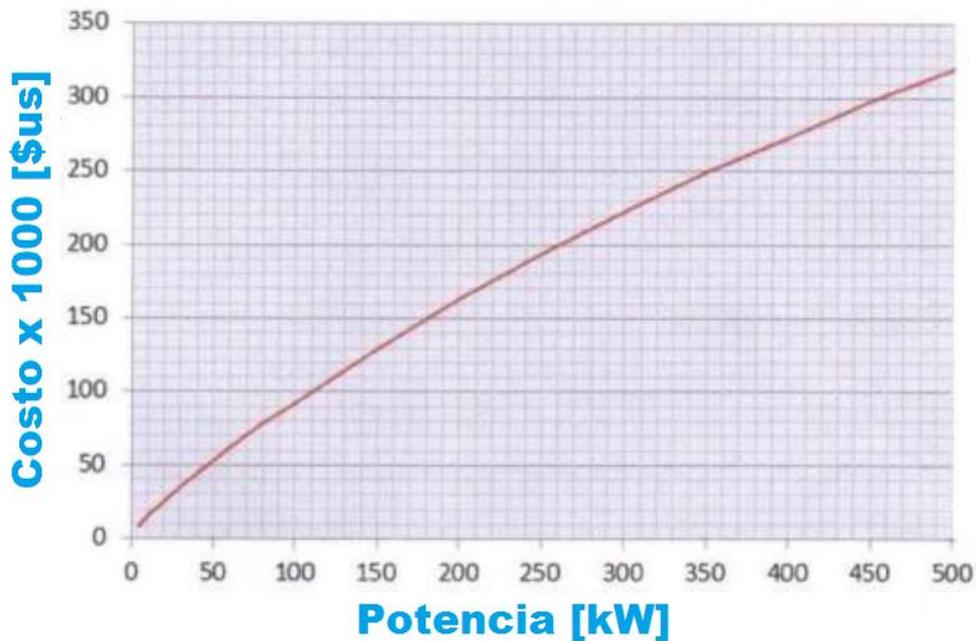


Gráfico 1. Costo referencial del equipo de generación. *Fuente.* Monroy (2015), IHH - UMSA



De la gráfica se puede observar que para una potencia estimada de 16 [kW] se tiene un costo de:

$$\text{Costo del equipo de generación} = 20000.00[\$us]$$

Mediante medidas en campo de las distancias entre la casa de máquinas y líneas eléctricas se determinó que la longitud aproximada de la línea eléctrica será de 650 [m]. Según el Manual de Identificación de Microcentrales Hidroeléctricas del Ministerio de Electricidad y Energías Alternativas el costo estimado de las líneas eléctricas es:

Línea de baja tensión → Costo = 500 – 2000 [\$/km]
Línea monofásica de media tensión → Costo = 2000 – 4000 [\$/km]

El proyecto tiene una línea monofásica, por tanto se adopta un costo de 2500 [\$/km]. Por tanto el costo de toda la línea eléctrica será:

$$\text{Costo de la línea eléctrica} = 1625.00[\$us]$$

El precio unitario para cada ítem tendrá la estructura que se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Estructura del precio unitario

| ESTRUCTURA DEL PRECIO UNITARIO | | | | |
|------------------------------------|---------|----------|-------------|-------------|
| ACTIVIDAD | Unidad: | | Costo [Bs]: | |
| CÓDIGO | Unidad | Cantidad | P.U. | Bs. |
| Insumos | | | | |
| 1. MATERIALES. | | | | |
| Total | | | | A |
| 2. MANO DE OBRA. | | | | |
| Total | | | | B |
| 3. HERRAMIENTAS Y EQUIPO | | | | |
| Herramientas Menores | | 5.00% | | |
| Total | | | | C |
| TOTAL PRECIO UNITARIO [Bs.] | | A+B+C= | | P.U. |

Presupuesto general

El presupuesto general considerará el costo de las obras civiles, el equipo electromecánico, transporte de materiales y movimiento de tierras.

Sin embargo para el presupuesto de la obra la estructura presupuestaria será: financiamiento externo y aporte de la Comunidad Local. Así también la ejecución de la obra será mediante auto-construcción.



Para el desarrollo del proyecto se debe contar con los siguientes datos para construir el presupuesto:

- **Módulo de obra de toma.** Describiendo los siguientes ítems: Replanteo de la obra de toma, Excavación en roca, Hormigón ciclópeo, Hormigón armado, Piso de cemento enlucido, Revoque impermeabilizante Revoque con mortero de cemento, Rejilla de la bocatoma, Compuerta metálica y Costo total obra de toma.
- **Módulo aducción.** Replanteo de la aducción; Excavación de suelo común Excavación en roca; Tendido de tubería PVC 6", Relleno y compactado de tierra y Costo total aducción.
- **Módulo desarenador - cámara de carga.** Replanteo, Excavación de suelo común, Hormigón armado, Piso de cemento enlucido, Revoque impermeabilizante, Revoque con mortero de cemento, Rejilla de la cámara de carga, Tendido de tubería de limpieza de PVC 4", Costo total desarenador - cámara de carga.
- **Módulo tubería de presión.** Replanteo de la tubería de presión, Excavación de suelo común, Hormigón ciclópeo para anclajes, Revoque con mortero de cemento, Tendido de tubería PVC 6", Prov. Y colocación de codo PVC 6", Válvula de cabecera, Válvula de cierre, Relleno y compactado de tierra, Costo total tubería de presión.
- **Módulo casa de máquinas.** Replanteo de la casa de máquinas, Excavación de suelo común, Relleno y compactado de

tierra, Cimientos, Sobrecimientos, Piso de cemento enlucido, Hormigón armado, Muro de madera, Cubierta de calamina, Puerta de madera, Instalación eléctrica casa de máquinas, Equipo de generación, y Costo total casa de máquinas.

- **Módulo reservorio de agua.** Replanteo del atajado, Excavación de suelo común, Relleno y compactado de tierra, Colocado geomembrana de PVC, Tendido de tubería de entrada y salida, y Costo total reservorio de agua.
- **Módulo sistema de distribución de agua.** Tanque campeón 5000 [t], Replanteo de la tubería de distribución, Excavación de suelo común, Tendido de tubería PVC 3/4", y Costo total sistema de distribución.
- **Módulo transporte de materiales.** Transporte de materiales, y Costo total transporte de materiales.

Comparación de alternativas

En la actualidad existen distintas formas de generación de energía eléctrica, entre las más importantes se tiene la termoeléctrica, hidroeléctrica, solar, eólica, generador a diésel, entre otras.

Sin embargo para el sitio de Mojos-Soriani no todas estas alternativas son viables. A continuación se analizan las alternativas.

Está la posibilidad de la extensión de la línea eléctrica desde el punto más cercano, en este caso, extender la línea eléctrica desde la población de Santa Cruz del Valle Ameno, ver Figura 4.



Figura 4. Cobertura de Energía Eléctrica en el Municipio de Apolo. **Fuente.** sigvmeea.hidrocarburos.gob.bo

De acuerdo al Manual de Identificación de MCH del Viceministerio de Electricidad, Energías Alternativas y Telecomunicaciones la extensión de energía eléctrica desde el Sistema Interconectado Nacional tiene un costo promedio entre 6000 [\$/km] y 8000 [\$/km]. (Viceministerio de Energía e

Hidrocarburos de la República de Bolivia, 2000)

Desde la última comunidad beneficiada con energía eléctrica, la población de Santa Cruz del Valle Ameno hasta el sitio Mojos-Soriani existe una distancia aproximada de 50 [km], por tanto el costo de extensión de la línea será:

$$\begin{aligned} \text{Costo extensión de línea eléctrica} &= 50[\text{km}] * 7000[\$/\text{km}] \\ \text{Costo extensión de línea eléctrica} &= 350000[\$/\text{us}] \end{aligned}$$

Sin embargo no se toma en cuenta el precio de compra de energía al sistema de conexión, además que con esta alternativa existe la posibilidad de constantes cortes de energía eléctrica debido a derrumbes u otros factores que dañarían la línea.

1. Para una generación de energía eólica es necesario comprobar la viabilidad del viento como recurso. Para esto se verifica:
 - *Necesidad de un espacio abierto.* Se debe contar como mínimo con

un tejado, cubierta, terreno (en el caso de viviendas aisladas en zonas rurales) y además que este espacio sea lo suficientemente grande para poder poner tensores y soportes a la torre o mástil del aerogenerador en caso de que el modelo elegido así lo requiera.

- *Espacio libre de obstáculos.* La presencia de obstáculos cercanos a la instalación puede influir de forma importante en la velocidad y dirección del viento, además generar turbulencias que afecten al rendimiento del aerogenerador.



- *Recurso eólico suficiente.* El viento tiene dos componentes principales que afectan al diseño de la instalación: Su dirección y velocidad.

La velocidad del viento mínima para el funcionamiento de un aerogenerador suele

ser entre 3-4 [m/s], aunque para poder plantear un proyecto eólico la velocidad del viento media anual debe situarse como mínimo en los 5 [m/s]. Como se muestra en el Figura 5 en la región del proyecto no existe esa velocidad mínima. Por tanto se descarta este tipo de generación eléctrica.

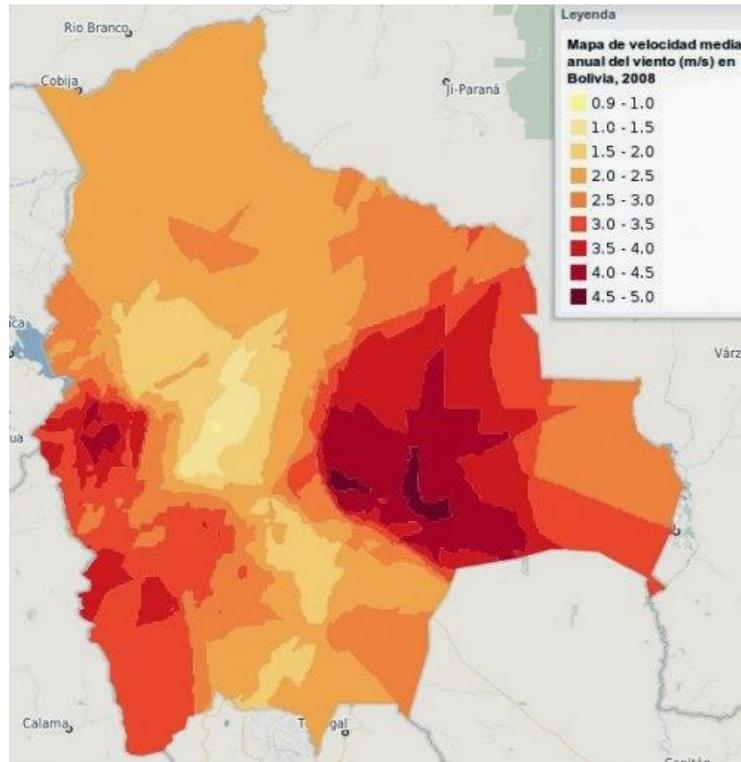


Figura 5. Mapa de velocidad media anual del viento de Bolivia [m/s]. **Fuente.** GeoBolivia

2. La generación de energía mediante paneles solares no es viable ya que para cubrir la demanda a futuro será necesario la compra de una gran cantidad de paneles solares. Los cuales tienen precio de:

$$\text{Costo panel solar (60 W)} = 450[\$us]$$

Para generar los 16 [kW] se necesitaría unos 270 paneles solares, por tanto el costo total sería:

$$\begin{aligned} \text{Costo generación eléctrica solar} &= 270[\text{paneles}] * 450[\$us/\text{paneles}] \\ \text{Costo generación eléctrica solar} &= 120000[\$us] \end{aligned}$$

3. La utilización de un grupo generador a diésel puede ser factible ya que la instalación de este equipo no requiere una gran inversión.



Costo grupo generador a diésel = 7900[\$us]

Sin embargo, para esta alternativa el costo por kWatt – hora será muy elevado, además que existe la dificultad de llevar el combustible desde el municipio. Por tanto esta alternativa no es viable.

4. La generación hidroeléctrica, además de no contaminar al medio ambiente, es una de las mejores alternativas debido a que no se necesita de una gran inversión (Marzana, 2016).

Costo generación hidroeléctrica = 66824.45[\$us]

Por tanto se concluye que la mejor alternativa para el proyecto es la generación hidroeléctrica.

demanda una gran inversión, además que la construcción y el funcionamiento de ésta no presenta daños para el medio ambiente.

CONCLUSIONES

La viabilidad técnica del proyecto se sustentó en los siguientes aspectos:

La propuesta de la ejecución del Proyecto Multipropósito: Energía, agua y producción para la población de Mojos, ubicado en el Municipio de Apolo en la provincia Franz Tamayo del departamento de La Paz, presenta las siguientes conclusiones:

El caudal captado por la obra de toma de 40 [lt/s] es aprovechado para la generación de energía eléctrica y la distribución de agua potable para la población de Mojos Soriani, por consecuente la actividad productiva en la región.

Se observó que la alternativa más económica para la generación de energía es la generada por el grupo diésel. Sin embargo, para esta alternativa el costo por kWatt – hora será muy elevado, además que existe la dificultad de llevar el combustible desde el municipio. Por tanto esta alternativa no será la más viable.

Durante casi todo el año hidrológico existe suficiente agua para cubrir las demandas de la microcentral hidroeléctrica y del sistema de distribución de agua potable. Así también en el caso de la temporada seca se cubrirá esta demanda con la implementación del reservorio.

A pesar de que en algunos tramos del sistema de distribución de agua no se cumple la condición de la velocidad mínima, ya no se puede disminuir el diámetro de la tubería ya que se adoptó el mínimo posible.

Por tanto, se garantiza que la demanda de energía eléctrica y la demanda de agua potable serán cubiertas.

En la mayoría de los puntos de la red de distribución de agua se tiene buenas presiones, todos son valores mayores al mínimo y menores al máximo.

Se concluye que la implementación de la microcentral hidroeléctrica será la alternativa más viable, debido a que no

REFERENCIAS

- CEDEX, (2004) Guía: Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas – C.H.A.C., Madrid, España
- Chow, V. T. (1994). McGraw Hill, Hidráulica de canales abiertos. Santafé de Bogotá. Chow,
- Curva de Duración de Caudales, recuperado de: <http://www.ingenierocivilinfo.com>
- Estudio de Pre-Factibilidad del Proyecto de Pequeña Central Hidroeléctrica de



- Apolo en La Paz, Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), Viceministerio de Energía e Hidrocarburos de la República de Bolivia, 2000
- Guía para la desinfección del agua para consumo en sistemas rurales de abastecimiento de agua por gravedad y bombeo, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del medio ambiente
- Krochin, (1978). Diseño Hidráulico, 2da. Edición, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
- Manual de energías renovables, Minicentrales Hidroeléctricas, Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, Madrid, España, 2006
- Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas (1985). Volumen III, Obras civiles. OLADE, Bucaramanga Colombia
- Marzana R., (2016). Generación hidroeléctrica para la población de Sarayoj como fuente de energía limpia y sostenible que se adapte al cambio climático. Proyecto de Grado, Carrera de Ingeniería Civil, Instituto de Hidráulica e Hidrología, Facultad de Ingeniería, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. Suescún I.M., Panorama Energético. Centrales Hidráulicas
- Monroy, J.L., (2015). Hidrogeneración en pequeña escala una experiencia local del programa hidroenergético. Primera edición, La Paz, Bolivia
- Revista Tecnología, Investigación y Docencia. (2016). Microcentrales hidroeléctricas y sus impactos socioambientales, s/p
- Sánchez San Román, J., (2001). Evapotranspiración, pg. 5-7. Departamento de Geología

Fuentes de información consultadas

- Ministerio de Hidrocarburos y Energía – Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas, Avenida Mariscal Santa Cruz, esquina Calle Oruro, Edif. Centro de Comunicaciones La Paz, Piso 12
- ONG Prodener, Centro Integral para las Energías Alternativas y Productivas, Calle Fernando Guachalla N°820, Edif. Marconi, Piso 3. sigvmeea.hidrocarburos.gob.bo
- Plan de Desarrollo Municipal Apolo (PDM - Apolo). 2018
- UMSA. – Instituto de Hidráulica e Hidrología, Calle 30 de Cota. La Paz – Bolivia
- UMSA. – Instituto de Ingeniería Sanitaria, Monoblock Central. La Paz – Bolivia