

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD CENTRAL DE LAS VILLAS
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



**TÍTULO: DISEÑO HIDRÁULICO DE UNA CENTRAL MICRO HIDROELÉCTRICA
PARA EL POBLADO DE BOQUERONES DEL MUNICIPIO DE MANICARAGUA**

Autor: Ernesto Jesús Pacheco Chaviano

Tutor: Msc.Ing. István Gómez Ríos

Año: 2017

Santa Clara

Pensamiento:

El acceso al conocimiento y la cultura, no significa por sí solo la adquisición de principios éticos; pero sin conocimiento y cultura no se puede acceder a la ética.

Sin ambos no hay ni puede haber igualdad ni libertad. Sin educación y sin cultura no hay ni puede haber democracia.

Fidel Castro Ruz

Dedicatoria:

A Beatriz por ayudarme a encontrar seguridad en mí mismo y enseñarme, que si se es esforzado y constante, se pueden alcanzar las metas propuestas.

A mis padres por ser mi inspiración y estar siempre de mi lado.

A mis amistades por escucharme y regalarme un poco de su tiempo.

Al personal del CEETA de la Facultad de Mecánica de la U.C.L.V, a ellos mis más sinceros agradecimientos, porque sin su ayuda no hubiese sido posible la realización de gran parte de este trabajo.

A mi tutor por nunca dejarme solo en esta difícil tarea.

A todo el que cuando lo necesité se acercó y me brindó su mano.

RESUMEN

El desarrollo paulatino de nuestro país ha traído como necesidad imperiosa el crecimiento de las centrales energéticas y basado en los lineamientos de la Política del Partido y la Revolución para el desarrollo se plantea la problemática de construir microcentrales hidroeléctricas a partir de los recursos naturales y acercarlos a las comunidades como vía alternativa de desarrollo, planteado en los lineamientos 245, 250 (Cuba, 2011).

El trabajo trata de establecer un procedimiento de cálculo que minimice el diseño hidráulico de un micro central hidroeléctrico en el poblado de Boquerones del municipio de Manicaragua el que cuenta con 625 habitantes. Estableciendo un canal con un área de 0.32 m^2 para velocidades de 1.27 m/s . Un desarenador de área de 0.75 m^2 para un caudal de $0.95 \text{ m}^3/\text{s}$ con un decantador de 22.68 m de largo por 3.17 m de ancho. El tubo de boca toma tendrá un largo de 16.33 m para instalar una potencia de 0.53 kW .

Summary:

The slowly development of our country has involved how imperious necessity the growth of energetic centrals and taking into account the qualities of the party politics and the revolution to the development it is presented the debatable of building hydroelectric micro central using natural resources and approach them to the communities as alternative way of developing, proposing in 245, 250, qualities, Cuba (2010). The work treats to establish a procedure of calculations to minimize the hydraulic design of a hydroelectric micro central in Boquerones town, Manicaragua municipality it has 625 populations. Establishing a central with an area of 0.32 m^2 , for speeds of 1.27 m/s . A desarenater of area like 0.75 m^2 for a volume of $0.95 \text{ m}^3/\text{s}$ with a decanter of 22.68 m of length for 3.17 m of width. The tube of the manhole has a long of 16.33 m to install a potency of 0.53 kW .

Índice

Introducción	1
Problema Práctico	2
Problema científico	2
Hipótesis	2
Objetivo general	3
Capítulo I Estado del Arte	4
1.1 Zona de estudio.....	4
1.2 Ciclo hidrológico.....	5
1.3 Central hidroeléctrica	7
1.4 Impactos ambientales potenciales	10
1.5 Concepto de Micro Central Hidroeléctrica	10
1.6 Turbinas hidráulicas	12
1.7 Compromiso costo / calidad / sustentabilidad	18
1.8 Descripción de los componentes tecnológicos de una MCH.....	20
Capítulo II Propuesta de procedimientos de cálculos hidráulicos	23
2.1 Estimación de la demanda	23
2.2 Obras civiles y Evaluación del recurso hidro energético	25
2.3 Velocidad del agua	29
2.4 Diseño del canal.....	30
2.5 Cámara de carga y tubería de presión	34
2.6 Potencia a instalar	36
➤ Estimación de la demanda.....	36
➤ Evaluación del recurso hidro energético.....	36
Capítulo III Análisis de los resultados y cálculos necesarios	38
3.1 Estimación de la demanda y diseño hidráulico	38
3.2 Diseño hidráulico y Caudal volumétrico	42
3.3 Potencia a instalar Ec. 17	42
Conclusiones del trabajo	43
Recomendaciones	45
Referencias Bibliográficas	46
Anexos	47

Introducción

El sistema electro energético nacional cubano está presentando una amplia gama de inversiones así como el establecimiento de una política que sea capaz de explotar al máximo todos los recursos naturales para lograr la disminución de importaciones y generar energías y fuentes de energías renovables que son de gran importancia, planteando así un reto para el desarrollo social.

El poblado de Boquerones del municipio de Manicaragua en Villa Clara cuenta con una población de 625 habitantes y 171 viviendas, presenta un difícil acceso de las líneas de transmisión eléctrica, lo cual afecta a los pobladores ya que carecen de este imprescindible servicio para la realización de las labores cotidianas.

Aparejado a esto también cuenta con pequeños manantiales de agua los que se pueden tomar como una fuente de energía alternativa si se realizan montajes de pequeñas centrales hidroeléctricas y mejorar así las condiciones de vida de los pobladores.

El lineamiento 245, (Cuba, 2011) plantea...”Proseguir el programa de rehabilitación y modernización de redes y subestaciones eléctricas, de eliminación de zonas de bajo voltaje, logrando los ahorros planificados por disminución de las pérdidas en la distribución y transmisión de energía eléctrica. Avanzar en el programa aprobado de electrificación en zonas aisladas del Sistema Electroenergético Nacional, en correspondencia con las necesidades y posibilidades del país, utilizando las fuentes más económicas”,

En términos de generación de electricidad a pequeña escala, los proyectos de micro central hidroeléctrica o como se le conoce comúnmente apocopando el nombre (microhidro) combinan las ventajas de los proyectos grandes y el manejo descentralizado de la generación obtenida; tampoco tienen la desventaja de una línea de transmisión costosa o la dependencia de los combustibles fósiles tan

escasos hoy en día. Los proyectos microhidro en general se caracterizan por tener una inversión inicial elevada y un bajo costo de operación y mantenimiento.

Esta elevada inversión inicial es una barrera para la ejecución de proyectos de micro hidroeléctrica en países en vías de desarrollo. No obstante, por su larga vida útil y bajo costo de mantenimiento los micros centrales hidroeléctricos bien planificados y apropiadamente operados conservan una relación costo/beneficio aceptable, especialmente cuando son fabricadas localmente dentro de las especificaciones de calidad apropiadas.

Problema Práctico

El poblado de Boquerones en el municipio de Manicaragua en Villa Clara está enmarcado en una zona rural montañosa alejada del sistema electro energético nacional y es muy difícil el constante suministro de energía eléctrica para el uso de hogares y empresas por lo que sufre de apagones y cortes de electricidad con muchas frecuencias.

Esta zona cuenta con un manantial de agua el cual brinda una fuente inagotable de generación de energía eléctrica aprovechable, además del impacto social, esta fuente es del tipo auto generadora por ser parte del ciclo hidrológico natural.

Problema científico

No existe un procedimiento que permita realizar o establecer los parámetros hidráulicos requeridos para establecer una central micro hidroeléctrica en el poblado de boquerones.

Hipótesis

Si se establecen los criterios necesarios a partir de las condiciones y recursos naturales para el diseño hidráulico de un micro central hidroeléctrico se podrá abastecer de energía eléctrica el poblado de Boquerones del municipio de Manicaragua.

Objetivo general

- Establecer los procedimientos de diseño hidráulico necesarios para el establecimiento de una central micro hidroeléctrica para el poblado de Boquerones del municipio de Manicaragua.

.Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica de la literatura especializada en temas de diseños hidráulicos de microcentrales hidroeléctricas.
- Realizar los cálculos necesarios para establecer los parámetros de diseño de una central micro hidroeléctrica.

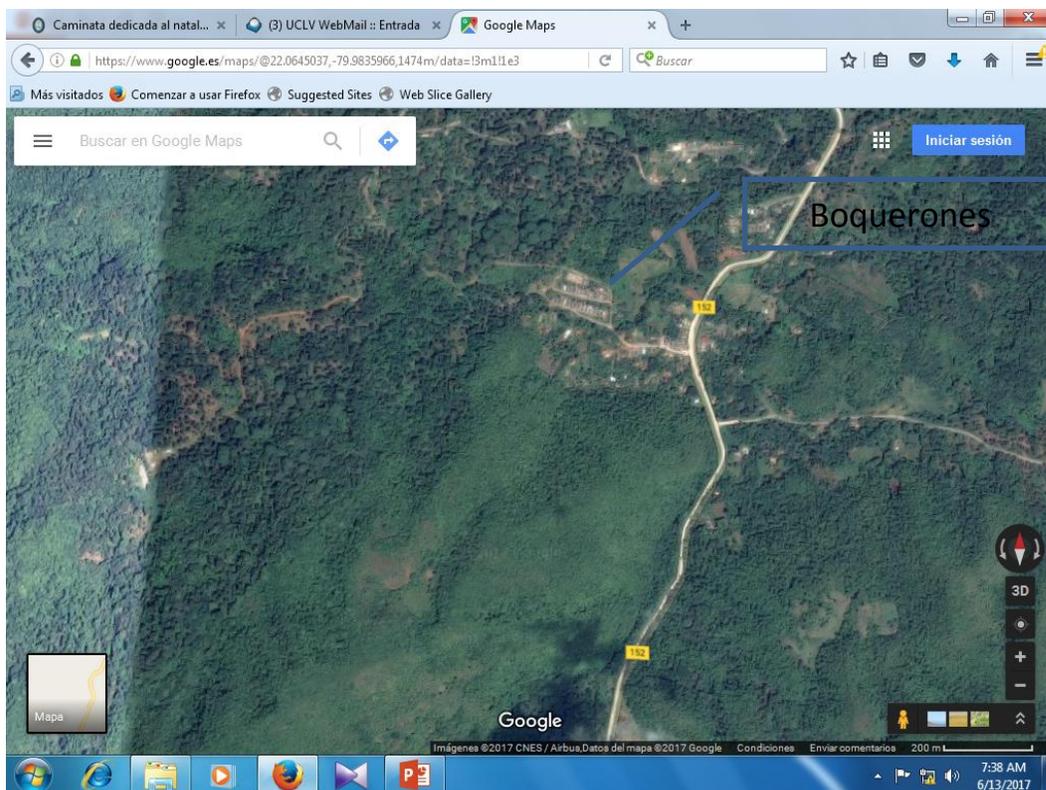
Capítulo I Estado del Arte

El tema de la implementación y fabricación de las microcentrales hidroeléctricas es un tema que cada vez toma más fuerza en los entornos rurales que cuentan con pequeños saltos hidráulicos los que pueden utilizarse a tal fin.

Antes de comenzar con el análisis y revisión de la bibliografía es importante conocer la zona de estudio y definir sus características

1.1 Zona de estudio

Este poblado está situado en la zona montañosa rural del Municipio de Manicaragua a las afueras del propio municipio, cuenta con una población de 625 habitantes aproximadamente divididos en 171 viviendas; las que usan para el alumbrado nocturno la energía proveniente del sistema electro energético nacional que muchas veces presenta dificultades debido a la lejanía de este poblado en la zona montañosa y las averías ocasionadas por las caídas de árboles y otros fenómenos físicos meteorológicos.



USO DEL RECURSO HÍDRICO

El aprovechamiento del recurso hídrico para la generación de energía comenzó en tiempos antiguos con el uso de ruedas hidráulicas muy rudimentarias pero que permitían la producción de fuerza motriz para aliviar el trabajo manual del hombre.

Las ruedas hidráulicas más evolucionadas acompañaron el nacimiento de la era industrial, aun antes de la llegada del motor a vapor. La revolución industrial con su fuerte demanda energética movilizó el desarrollo tecnológico de los procesos de conversión de energía y la rueda hidráulica fue superada por la turbina a finales del siglo XIX.

La fuerza mecánica primero y la energía eléctrica después fueron los productos energéticos, con que el recurso hídrico contribuyó, y lo continúa haciendo en la actualidad, con el progreso económico y la mejora de la calidad de vida de la población.

El proceso de conversión del recurso hídrico más difundido en la actualidad es la producción de energía eléctrica, el cual permite alcanzar altos niveles de eficiencia en la conversión de la energía hidráulica en energía eléctrica.

En Cuba no se cuenta con una base de estudio fortalecidas por lo que a veces el trabajo se encarece y no se conocen a profundidad los cálculos generales de estas centrales

1.2 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es un ciclo perfecto puesto que no ocurren pérdidas ni aportaciones adicionales a través del tiempo y la misma cantidad de agua que se ha evaporado de las superficies de los océanos, lagos, ríos y embalses que circundan el globo terráqueo, regresa a la tierra en forma de precipitación.

El ciclo del agua comienza cuando la radiación solar calienta las superficies mencionadas y se evapora una parte del agua acumulada, el vapor de agua a medida que sube hacia la atmósfera se enfría y se condensa en forma de nubes.

Cuando las partículas de agua en las nubes chocan entre sí aumentan de tamaño hasta que caen nuevamente a la tierra en forma de precipitación((SAG), 2009).

Esta precipitación puede ocurrir en forma de lluvia, nieve, escarcha o granizo. Una parte de esta precipitación debido a la gravedad, escurre sobre la superficie de las montañas formando los arroyos, quebradas y ríos que eventualmente llegan a los océanos.

Anualmente, de los océanos se evaporan unos 335,000 km³ de agua y de las masas continentales unos 65,000 km³ incluyendo lagos, ríos, glaciares y embalses. Para que haya un balance entre las pérdidas por evaporación, debe ocurrir una precipitación igual a 400,000 km³ de agua. De esta magnitud solamente 100,000 km³ de agua se precipitan sobre los continentes. Se estima que cada año la evapotranspiración terrestre alcanza un 19% del agua evaporada de los océanos((SAG), 2009, Luís Soto Andraca, 2006).

Nuestro país se ha visto afectado también por los cambios climáticos, cada año el por ciento de precipitaciones es menor y la relación del ciclo hidrológico es más deficiente. Afectando el ciclo de cultivos y su producción la que se compromete por los factores meteorológicos.

Es muy importante entender el ciclo hidrológico para comprender el concepto de la generación hidroeléctrica a cualquier escala. Decimos que la electricidad generada por una hidrocentral es renovable porque el recurso agua en la tierra es reabastecido continuamente por la precipitación derivada del ciclo hidrológico.

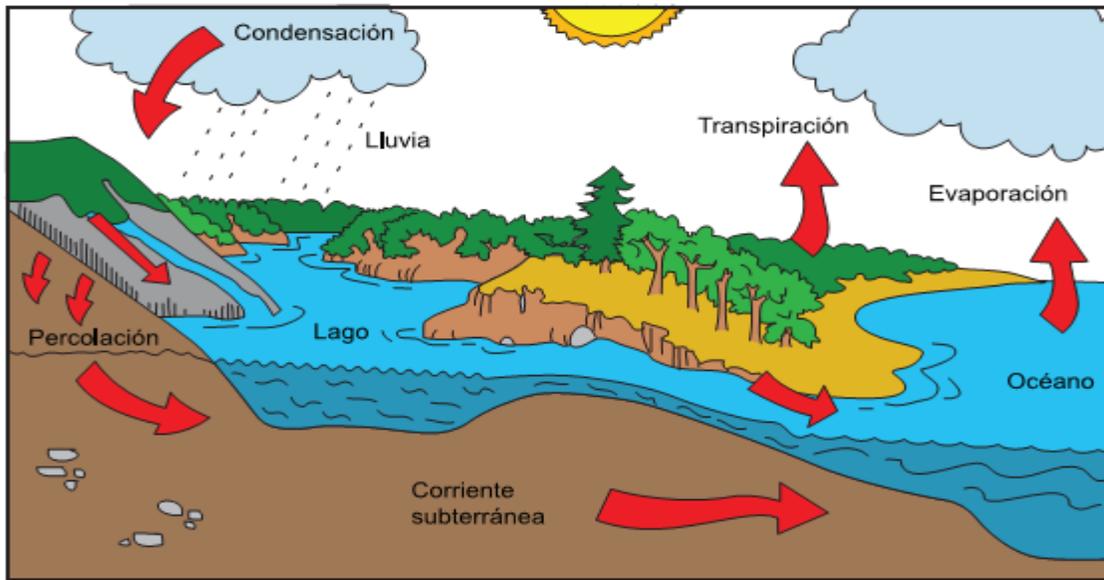


Figura: 1 Ciclo Hidrológico(Diez, 2009)

1.3 Central hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica es aquella en la que la energía potencial del agua almacenada en un embalse se transforma en la energía cinética necesaria para mover el rotor de un generador y posteriormente transformarse en energía eléctrica.

Las grandes centrales hidroeléctricas se construyen en los cauces de los ríos, creando un embalse para retener el agua. Para ello se construye un muro grueso de piedra, hormigón u otros materiales, apoyado generalmente en alguna montaña. La masa de agua embalsada se conduce a través de una tubería hacia los álabes de una turbina que suele estar a pie de la presa, la cual está conectada al generador. Así, el agua transforma su energía potencial en energía cinética, que hace mover los álabes de la turbina(Council, 2004).

Una central eléctrica no almacena energía, sino que la producción sigue a la demanda solicitada por los usuarios. Como esta demanda es variable a lo largo del día, y con la época del año, las centrales eléctricas pueden funcionar con una producción variable.

Existen dos formas fundamentales para explotar esta energía hidráulica:

Desvío del cauce de agua

El principio fundamental de esta forma de aprovechamiento hidráulico de los ríos se basa en el hecho de que la velocidad del flujo de estos es básicamente constante a lo largo de su cauce, el cual siempre es en pendiente. Esta energía potencial puede ser aprovechada si se hace pasar al agua a través de una turbina(Council, 2004).

Retención de la corriente de agua mediante una presa

Consiste en la construcción de una presa que retenga el cauce de agua para elevar el nivel de la quebrada en su parte anterior a la presa, el cual podría eventualmente convertirse en un pequeño embalse. La presa establece una corriente no uniforme y modifica la forma de la superficie libre de la quebrada antes y después de que toman forma de las llamadas curvas de remanso(Council, 2004).

Tipos de Centrales hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar de distintas maneras según sus características y diseño, contemplado desde su forma de utilización del recurso hídrico hasta su dimensión de la capacidad instalada por esto pueden ser clasificadas: a. De acuerdo a su régimen de flujo, Estas pueden ser:

➤ Centrales a filo de agua

También denominadas centrales de agua fluyente o de pasada, utilizan parte del caudal de un río para generar energía eléctrica. Operan en forma continua porque no tienen capacidad para almacenar agua y no disponen de embalse. Utilizan el agua disponible en el múltiple de entrada de acuerdo a su capacidad de diseño. Por sus características son la mejor opción cuando se trata de proyectos de baja inversión como el nuestro, además el impacto ambiental mediante la implementación de este tipo de centrales es mínimo((SAG), 2009, Council, 2004).

➤ Centrales de embalse

Es el tipo más frecuente de central hidroeléctrica. Utilizan un embalse para acumular agua e ir graduando el agua que pasa por la turbina. Requieren una inversión mayor y reservas suficientes, en nuestro país son las más comunes de ver, como la Hanabanilla del territorio mencionado en este trabajo, limítrofe con la provincia de Sancti Spíritus y Cienfuegos (Council, 2004, (SAG), 2009).

➤ Centrales de acumulación por bombeo

Este método utiliza la energía potencial del agua bombeándola desde un reservorio de menor elevación hacia un embalse más elevado. Se usa la electricidad generada fuera de las horas de mayor demanda –más barata- para activar el bombeo y reutilizar el agua para generar electricidad mediante turbinas (usualmente tipo Francis) en los periodos de mayor demanda.

Tomando en cuenta las pérdidas por evaporación en la superficie de los reservorios y otras pérdidas en el proceso, únicamente se recupera entre el 70-85% de la energía utilizada para bombear el agua hacia arriba; por esta razón la técnica tiene la peor relación beneficio/costo para generar grandes cantidades de energía eléctrica y funciona únicamente en aquellos países que tienen grandes variaciones en el precio kW/h durante ciertos periodos de tiempo en la noche y fines de semana (Council, 2004, Luís Soto Andraca, 2006).

b. De acuerdo a su potencia de generación

Actualmente las centrales hidroeléctricas varían en tamaño desde las muy pequeñas, que se utilizan para iluminar unas cuantas casas en asentamientos remotos, hasta los gigantescos embalses que generan electricidad para millones de personas.

Estas hidrocentrales pueden producir electricidad de manera confiable y barata durante muchos años, su alta eficiencia de operación aunada al alto costo de los combustibles fósiles hacen de las mismas una fuente de electricidad importante en el mundo entero.

Aunque no existe consenso entre países industrializados referido al tamaño de las hidrocentrales ,existen algunos límites que constituyen un criterio de clasificación(Council, 2004):

- Grandes. Todas las plantas con capacidad mayor a 100 MW.
- Medianas. Aquellas plantas entre 15 y 100 MW de capacidad.
- Pequeñas. Todas las plantas dentro del rango de 1 a 15 MW.
- Mini. Plantas que producen más 100 kW y menos 1 MW.
- **Micro**. Todas las plantas con capacidad entre 5 a 100 kW. Amplio rango de adaptación en asentamientos remotos de Cuba la que se piensa proyectar en este trabajo.
- Pico. Capacidad menor a 5 kW.

1.4 Impactos ambientales potenciales

Los impactos ambientales de los proyectos hidroeléctricos son siempre significativos. La construcción y operación de la represa y el embalse constituyen la fuente principal de impactos del proyecto hidroeléctrico. Los proyectos de las represas de gran alcance pueden causar cambios ambientales irreversibles, en un área geográfica muy extensa; por eso, tienen el potencial de causar impactos importantes al medio ambiente.

Hay impactos ambientales directos asociados con la construcción de la represa (p.ej., el polvo, la erosión, problemas con el material pesado y de los desechos), pero los impactos más importantes son el resultado del embalse, la inundación de la tierra para formar el embalse, y la alteración del caudal de agua, aguas abajo. Estos efectos ejercen impactos directos en los suelos, la vegetación, la fauna y las tierras silvestres, la pesca, el clima y la población humana del área circundante.

1.5 Concepto de Micro Central Hidroeléctrica

Una Micro Central Hidroeléctrica (MHC) es aquella que se utiliza para la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel,

también conocido como salto de agua, desde un punto de captación (presa o bocatoma) situada a mayor altura que la central.

El agua se lleva por una tubería de descarga a la sala de máquinas de la central, donde las turbinas hidráulicas transmiten la energía en forma de rotación de un eje a un generador convirtiéndola en energía eléctrica.

La potencia mecánica de una hidroturbina se obtiene mediante la energía cinética del agua en movimiento a través de una tubería apropiada; la capacidad en el eje de una hidroturbina está determinada por el caudal disponible para impulsar el rodete de la misma y por la diferencia de elevación o caída vertical entre la superficie del agua en la bocatoma y el nivel de las toberas o boquillas de descarga en la turbina aguas abajo del punto de captación o bocatoma en la quebrada.(Council, 2004)

En un sistema a filo de agua-típico en las microturbinas- se deriva de la quebrada únicamente una fracción de la corriente que fluye por la misma. De esta manera, además de reducir los costos de las obras civiles del proyecto también se minimiza el impacto ambiental sobre la vida acuática presente en el sitio.

La potencia hidráulica dentro de esta modalidad se utilizó desde hace mucho tiempo. Los griegos ya utilizaban las ruedas hidráulicas para moler trigo hace más de 2,000 años y antes de la disponibilidad comercial de la potencia hidroeléctrica, la fuerza de las caídas de agua se utilizó para irrigación y operación de maquinaria textil y en aserraderos a principios del Siglo XX en Europa y Norte América. La primera micro central fue construida en 1882 en Appleton, Wisconsin, Estados Unidos, con una capacidad instalada de 12.5 kW para iluminar una pequeña fábrica de papel y una casa(Council, 2004).

Como los proyectos micro hidro generalmente no requieren de un embalse o reservorio, cada vez se utilizan más como una fuente alternativa para generar electricidad, especialmente en lugares remotos y donde no es viable llevar la red eléctrica nacional. Los beneficios ambientales de los micros centrales son importantes porque:

1. La generación hidroeléctrica proviene de un recurso energético renovable, ya que el agua solamente es prestada por la micro cuenca y como el agua no tiene contacto con grasas y aceites, no hay contaminación.

2. En las micros centrales hidroeléctricas no intervienen combustibles de ningún tipo y no ocurren emisiones contaminantes como las que liberan los generadores accionados por compuestos derivados del petróleo.(Diaz, 2017)

Principales ventajas de los micro-centrales hidroeléctricas

- Se basa en un recurso renovable y gratuito.
- No es consuntiva, se toma el agua en un punto y regresa al mismo punto.
- Completamente segura para personas y animales ya que no es contaminante.
- Favorece el ambiente y la conservación de los recursos naturales.
- Por su tamaño, la micro generación permite que los usuarios se involucren directamente en todas las actividades, desde el inicio y desarrollo, operación, mantenimiento y administración del proyecto.
- Como componente de un esquema de desarrollo hidráulico; las micro turbinas se pueden integrar a proyectos de irrigación o de agua potable para maximizar el beneficio compartiendo el costo entre varios sectores.

Aunque existen criterios y valoraciones diferentes, hay formas de calcular una central hidráulica basada en la población a la cual va a estar destinada la demanda de energía eléctrica((OLADE), 2012).

1.6 Turbinas hidráulicas

La turbina es el elemento que aprovecha la energía cinética y potencial del agua para producir un movimiento de rotación, que transferido mediante un eje al generador, produce energía eléctrica. En cuanto al modo de funcionamiento, las turbinas hidráulicas se pueden clasificar en dos tipos: a) turbinas de acción y b) turbinas de reacción.(Tello, 2003)

La diferencia entre ambos tipos es que las turbinas de acción aprovechan únicamente la velocidad del flujo de agua para hacerlas girar, mientras que las de reacción aprovechan, además, la presión que le resta a la corriente en el momento de contacto. Es decir, mientras que las turbinas de reacción aprovechan la altura total disponible hasta el nivel de desagüe, las de acción aprovechan únicamente la altura hasta el eje de turbina.

El tipo de turbina de acción más conocido es la Pelton, pero existen otros tipos como pueden ser la Turgo con inyección lateral y la turbina de doble impulsión o de flujo cruzado, también conocida como turbina Ossberger o Banki- Michell; dentro de las turbinas de reacción, las más conocidas son la Francis y la Kaplan.

Turbina Pelton

Es la turbina de acción más utilizada. Consta de un disco circular, o rodete que tiene montados en su periferia una especie de cucharas de doble cuenco o álabes. El chorro de agua, dirigido y regulado por uno o varios inyectores incide sobre estas cucharas provocando el movimiento de giro de la turbina. La potencia se regula a través de los inyectores que aumentan o disminuyen el caudal del agua. En las paradas de emergencia se utilizará un deflector de chorro, que lo dirige directamente hacia el desagüe, evitando así el embalamiento de la máquina. De esta forma se realiza un cierre lento de los inyectores sin provocar golpes de presión en la tubería forzada.(Tello, 2003)

Este tipo de turbina, se emplea en aprovechamientos hidroeléctricos de salto elevado y pequeño caudal. El rendimiento energético que proporcionan estas máquinas es superior al 90% en condiciones de diseño. Presenta una curva de rendimiento bastante plana, tiene generalmente un rendimiento superior al 80% para un caudal del 20% del nominal. En la figura 2 se muestra una turbina de este tipo.(Tello, 2003)

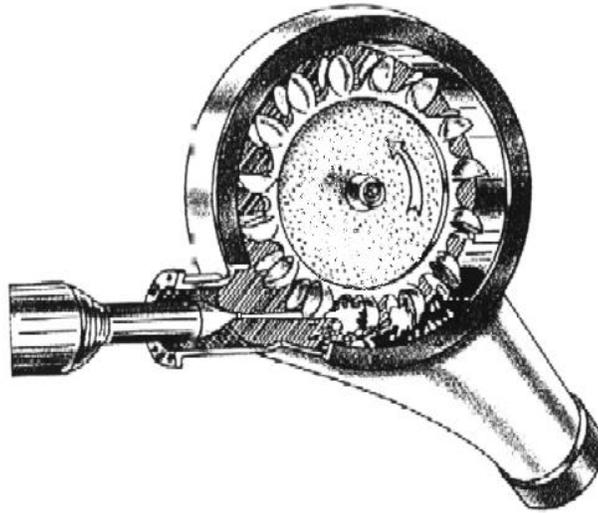


Figura 2. Turbina Pelton

Turbina de flujo cruzado

Este tipo de turbina de acción se conoce también como de doble impulsión, Ossberger o Banki-Michell. Está constituida de un inyector de sección rectangular provisto de un álabe longitudinal que regula y orienta el caudal que entra en la turbina y un rodete de forma cilíndrica, con sus múltiples palas dispuestas como generatrices y soldadas por los extremos a discos terminales.(Tello, 2003)

El caudal que entra en la turbina es orientado por el álabe del inyector, hacia las palas del rodete, produciendo un primer impulso. Posteriormente, atraviesa el interior del rodete y proporciona un segundo impulso, al salir del mismo y caer por el tubo de aspiración. Estas turbinas tienen un campo de aplicación muy amplio, pudiendo instalarse en aprovechamientos con saltos comprendidos entre 1 y 200 metros y con un rango de variación de caudales muy grande. La potencia unitaria que puede instalar está limitada aproximadamente a 1 MW. En la figura 3 se muestra un diagrama esquemático de una turbina de este tipo.(Tello, 2003)

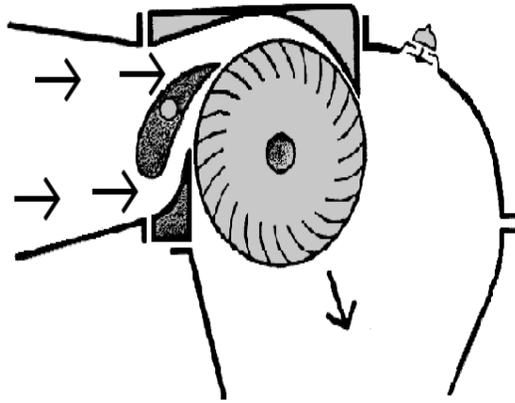


Figura 3. Diagrama esquemático de turbina de flujo cruzado (Banki)

Turbina Francis

Dentro de las turbinas de reacción, la Francis se caracteriza porque recibe el flujo de agua en dirección radial, orientándolo hacia la salida en dirección axial. Este tipo de turbina está compuesta por:(Tello, 2003)

1. Un distribuidor que contiene una serie de álabes fijos o móviles que orientan el agua hacia el rodete.
2. Un rodete formado por una corona de paletas fijas, torzonadas, de forma que reciben el agua en dirección radial y la orientan axialmente.
3. Una cámara de entrada, que puede ser abierta o cerrada, de forma espiral para dar una componente radial al flujo de agua.
4. Un tubo de aspiración o de salida de agua, que puede ser recto o acodado, y se encarga de mantener la diferencia de presiones necesarias para el buen funcionamiento de la turbina.

La turbina Francis se adapta muy bien para distintos saltos y caudales y tiene un rango de funcionamiento muy grande. El rendimiento de una turbina Francis es superior al 90% en condiciones óptimas de funcionamiento. Permite variaciones de caudales entre el 40% y el 105% del caudal de diseño, y en salto entre el 60% y el 125% del nominal. En la figura 4 se muestra esquemáticamente el funcionamiento de una turbina de este tipo, así como un detalle de rodete.(Tello, 2003)

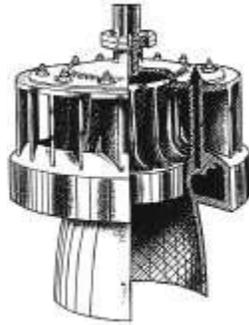


Figura 4. Esquema de funcionamiento turbina Francis y detalle de rodete

Turbinas hélice, semi-Kaplan y Kaplan

Una instalación con turbina hélice, se compone básicamente de una cámara de entrada que puede ser abierta o cerrada, un distribuidor fijo, un rodete con 4 ó 5 palas fijas en forma de hélice de barco y un tubo de aspiración.

También hay otra variante de la hélice consistente en una turbina con distribuidor regulable y rodete de palas fijas (Tello, 2003).

Las turbinas semi-Kaplan y Kaplan, son variantes de la hélice con diferentes grados de regulación. Tanto la Kaplan como la semi-Kaplan poseen el rodete con palas ajustables que les proporciona posibilidad de funcionamiento en un rango mayor de caudales. La turbina Kaplan, además, tiene distribuidor regulable, dándole un mayor rango de funcionamiento con mejores rendimientos, a costa de una mayor complejidad y costes más elevados. Se muestra el rodete de una turbina Kaplan en la figura 5.

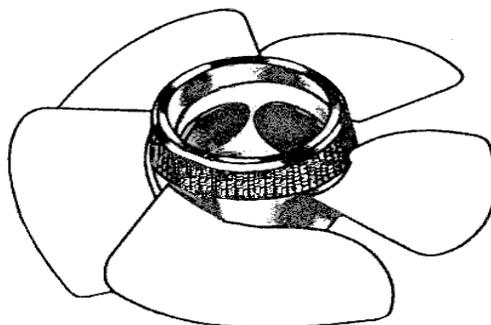


Figura 5. Rodete de una turbina Kaplan

Comparación entre turbinas

El mecanismo de orientación de los álabes de rodete y el distribuidor es controlado por el regulador de la turbina. La utilización de un tipo u otro de turbina en un determinado aprovechamiento está condicionada por aspectos técnico-económicos:

1. En una central de tipo fluyente, caracterizada por tener un salto prácticamente constante y un caudal muy variable, es aconsejable la utilización de una turbina Kaplan o semi Kaplan.(Tello, 2003, (SAG), 2009)

2. En una central con regulación propia, que funciona con caudal casi constante entre unos niveles máximo y mínimo de embalse, se puede emplear una turbina hélice o hélice con distribuidor regulable a fin de disminuir la inversión. En cada caso particular, será necesario evaluar el incremento de producción que se obtiene al instalar una turbina Kaplan y decidir si este incremento justifica o no la mayor inversión necesaria respecto a instalar una turbina semi-Kaplan o hélice.

En general, este tipo de turbinas se utiliza para saltos pequeños y caudales variables. La variación admitida en el salto es del 60% al 140% del diseño, y en el caudal del 40% al 105% del caudal nominal para la hélice, y del 15% al 110%, para la Kaplan, situándose la turbina semi-Kaplan entre ambas.(Tello, 2003)

El rendimiento es de aproximadamente el 90% para el caudal nominal y disminuye a medida que se aleja de dicho valor. Para las turbinas hélice el rendimiento baja hasta un 75% para caudales del orden del 60% del nominal.

La implantación de este tipo de turbinas suele ser con eje vertical, en cámara abierta o cerrada, pero puede darse otro tipo de instalaciones con eje horizontal o ligeramente inclinado.(Tello, 2003)

Cada turbina tiene un rango de posible utilización, en función de salto y caudal. Así por ejemplo, para saltos pequeños y caudales variables es adecuada la turbina Kaplan. Si el salto es más elevado y las variaciones de caudal son moderadas se pueden utilizar la turbina Francis. Para grandes saltos, independientemente de la variación de caudal, la turbina más adecuada será la Pelton. Para la correcta estimación de la energía producida en un aprovechamiento, es fundamental conocer el rendimiento de la turbina en cada régimen de funcionamiento.

Debe tenerse en cuenta, que los rendimientos de las turbinas de reacción aumentan con el diámetro de salida del rodete, es decir, las turbinas grandes

tienen mejores rendimientos que las pequeñas, aunque puede estimarse el rendimiento del generador en un 95% para condiciones nominales de funcionamiento.(Tello, 2003)

Entre la turbina y el generador puede instalarse un multiplicador de velocidad. Este mecanismo aumenta la velocidad de giro del rotor del generador en condiciones normales de funcionamiento. Teniendo en cuenta que el número de polos del generador disminuye si se aumenta la velocidad de giro; si se instala un multiplicador, el tamaño del generador disminuye, y también su coste.

Debe observarse que el multiplicador de velocidad produce pérdidas mecánicas, alcanzando un rendimiento próximo al 98%, situación a considerar en el cálculo de la potencia nominal en el caso de que exista multiplicador en la instalación.(Tello, 2003)

El generador es una máquina basada en la inducción electromagnética, que se encarga de transformar la energía mecánica de rotación, que proporciona la turbina, en energía eléctrica. El principio de funcionamiento está basado en la ley de Faraday: Cuando un conductor eléctrico se mueve en un campo magnético, se produce una corriente eléctrica a través de él.

El generador está compuesto por dos partes fundamentales:

1. El rotor, que se encarga de generar un campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina.
2. El estator, sobre el que se genera la corriente eléctrica aprovechable.

En centrales menores de 1 000 kW la tensión de trabajo del generador es de 380 y 500 voltios, para potencias más elevadas la generación se produce en media tensión. El generador puede ser de dos tipos: síncrono o asíncrono.(Tello, 2003)

Otro aspecto importante es el compromiso del costo con el ambiente

1.7 Compromiso costo / calidad / sustentabilidad

Antes de ingresar en el estudio y selección de las tecnologías y criterios de diseño que proponemos utilizar en los proyectos, es necesario: a) definir el compromiso entre costo y calidad del suministro eléctrico que los usuarios y la comunidad están dispuestos a aceptar y b) considerar la relación entre la confiabilidad y el grado de automatismo que, conforme a la organización institucional que se adopte

para operar y mantener el sistema, asegure la sustentabilidad de los proyectos en el largo plazo(Council, 2004).

En relación con los costos, la solución técnica debe reducirlos al mínimo compatible con un abastecimiento continuo, dentro de los criterios de suministro adoptado por el proyecto. Estos criterios suelen referirse al tipo de servicios desde el continuo de 24 horas, a servicios interrumpibles con solo 6 horas por día (servicio nocturno) y a los tiempos máximos de interrupciones que pueden admitirse, originados por escasez del recurso hídrico, o bien por contingencias electromecánicas o electromagnéticas(Council, 2004).

Tanto los tiempos de interrupción aceptables como las variaciones de tensión y frecuencia permitidas en estos pequeños sistemas, son menos rigurosos que para los sistemas eléctricos de alta concentración de demanda.

Pretender estándares de calidad altos implicaría proyectos con tecnología sofisticada, con fuerte impacto en los costos tanto de inversión como de operación y mantenimiento.

Por otra parte los requerimientos eléctricos de la comunidad receptora de este tipo de proyecto corresponden al uso de artefactos y equipos y al desarrollo de actividades que no necesitan altos estándares de calidad de servicio(Council, 2004).

El principal salto cualitativo que percibe esta comunidad, es la diferencia entre contar y no contar con electricidad. Si su evolución socioeconómica le permite acceder a equipamientos electrodomésticos o productivos sofisticados, seguramente contará también con ingresos suficientes para invertir en la mejora de calidad que requieran.

En relación con la sustentabilidad, la localización de los proyectos en las áreas alejadas de los centros más desarrollados requiere de tecnologías sencillas que puedan atenderse localmente tanto en lo referido a operación, como a reparación o reposición de componentes y partes de equipos e instalaciones.(Council, 2004)

No obstante le decisión final sobre criterios de diseño técnico de los proyectos dependerá de la figura institucional que se adopte para operar y mantener los sistemas.

Este punto que discutiremos más ampliamente en el último capítulo, implica que los criterios de diseño podrán definirse según que la explotación sea altamente descentralizada en la comunidad local (requiere tecnologías más sencillas) o que se realice con formas más centralizadas en estructuras de gestión técnica (admite mayor complejidad tecnológica).

1.8 Descripción de los componentes tecnológicos de una MCH

En una Micro Central Hidroeléctrica se pueden distinguir cuatro partes componentes principales.

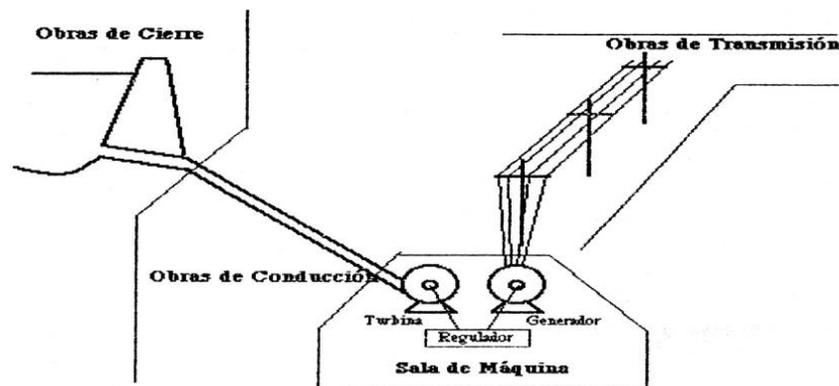


Figura: 6 Partes de una micro central hidroeléctrica

La Obra de Cierre y Captación

Consistente en la construcción destinada a producir el cierre para almacenamiento de agua, o la simple elevación del tirante para su derivación hasta la microcentral, o simplemente una toma para captar una parte del caudal que circula por el río o arroyo.

La Obra de Conducción o de Derivación

Son las instalaciones que deben transportar los caudales desde las Obras de Captación hasta la turbina para su aprovechamiento energético. Pueden estar constituidas por tuberías cerradas solas o combinadas con canales a cielo abierto.

La Micro Central o Sala de Maquinas

Está constituida por el espacio y las estructuras en que se aloja el equipamiento hidroelectro mecánico, y que consiste habitualmente en una pequeña habitación, que por su ubicación próxima a los arroyos requiere ser planeada para afrontar los

cambios en el nivel de restitución, provocados por las crecidas extraordinarias, regulador de velocidad, el generador, y el tablero de comandos y control.

Las Obras de Distribución (Redes Eléctricas)

Permiten el transporte de la energía eléctrica hasta los usuarios e incluyen las estaciones de transformación y las líneas de media y baja tensión mono y trifásicas.

Características particulares de la tecnología de MCH

Como dijimos anteriormente la utilización de MCH como tecnología de abastecimiento dentro de un programa rural de electrificación, incorpora algunos rasgos característicos que la diferencian de otros planes de construcción de obras públicas. Tales rasgos distintivos son los siguientes:

- Las MCH tienen dos componentes particulares, turbinas y reguladores, que no cuentan con una oferta de mercado de alta difusión y para los que es conveniente desarrollar proveedores locales que pueden en el futuro atender reparaciones y nuevos suministros. La ingeniería utilizada en estos componentes, debe ser lo suficientemente sencilla como para permitir su construcción con las máquinas, equipos e instrumentos y con los niveles de calificación de mano de obra, con que habitualmente se cuenta en regiones rurales alejadas de los centros urbanos desarrollados. Se requiere garantizar condiciones preestablecidas de calidad en las prestaciones de tales componentes y utilizar criterios de estandarización que faciliten la rápida y sencilla reposición total o parcial de los mismos.(Council, 2004)
- Las Obras de Captación y Conducción del agua hasta la sala de máquinas, si bien siguen lineamientos más convencionales, deben ser concebidas con criterios técnicos que, sin perder seguridad, reduzcan los costos de inversión y permitan tanto la integración de materiales locales como la participación de los futuros beneficiarios en su ejecución. Debe siempre recordarse que las micro centrales hidroeléctricas no son centrales grandes y en consecuencia no deben aplicarse a ellas técnicas ni modalidades constructivas y contractuales de las grandes obras.
- Las Obras de Distribución, deben adecuarse a los criterios de reducción de costos con que se desarrolla el conjunto de los micros aprovechamientos,

estableciendo estándares de calidad adecuados a los mismos. Para ello es necesario revisar aquellas normas técnicas que privilegian la calidad antes que el costo y que suelen utilizarse en redes rurales de regiones más desarrolladas.

Capítulo II Propuesta de procedimientos de cálculos hidráulicos

En este capítulo se realizará una propuesta de cálculo ya que los mismos se realizan de forma independiente, cada especialista aporta criterios y hacen engorroso el trabajo de obra.

Los cálculos necesarios correspondientes al diseño de los canales de captación del agua así como el caudal y las variables involucradas en los procesos de diseño primario del micro central deben tener en cuenta que es una obra de poco montaje civil ya que solo se construyen canales, obras de tomas y una caseta donde se implantará la tecnología.

La obra se realizará en el poblado de Boquerones del Municipio de Manicaragua en las coordenadas latitud: 602.000 norte y longitud: 247.500 oeste a una altura: 380.6 msnm.

En los proyectos de los micros centrales se realizan cálculos de forma independiente por parte de los especialistas, las ecuaciones y formulaciones utilizadas se exponen en el Anexo 1 de este trabajo. Solo haremos mención a ellas y se obtendrán los resultados en el capítulo 3 de este mismo compendio.

2.1 Estimación de la demanda

El análisis de la demanda es un aspecto importante para el diseño o estudio de una micro central hidroeléctrica

Sus resultados deben aportar el consumo actual de la población a la que se desea suministrar energía, y con estos proyectar la demanda durante un período de tiempo según su necesidad.

Por tratarse de un análisis de zonas rurales aisladas donde las poblaciones se encuentran alejadas de los grandes servicios interconectados y muchas veces sin servicio eléctrico no es posible aplicar métodos tradicionales para la estimación de la demanda futura de un país como la extrapolación de la demanda anterior o modelos econométricos en base a indicadores nacionales.

Estimación de la demanda actual

Existen varios métodos para estimar la demanda entre los que podemos mencionar((OLADE), 2012):

- Método de Nosaki
- Método de soluciones prácticas
- Método de demanda de energía desarrollado por Ortiz
- Método REA
- Método de PPL/GTZ
- Método de Monenco

Para este trabajo se tomará el método Nosaki por la simplicidad de los cálculos aunque se puede tomar cualquiera.

El método de Nosaki es un método empírico basado en el análisis de experiencias pasadas, que pueden no servir para realizar una estimación rápida de la demanda actual((OLADE), 2012).

El método asume que la potencia instalada per cápita tiene un rango total que depende del número de habitantes. Para calcular la demanda promedio se promedia el valor más alto y el más bajo de los rangos establecidos por poblaciones.

En primer lugar se considera la demanda proporcionada por la tabla 1 en función del número de habitantes.

Calculemos la demanda de un centro poblado de 625 habitantes dato aportado por la Oficina de estadísticas de Santa Clara (ONEI) tomados del último censo de población y viviendas (ONEI, Abril 2014)

En segundo lugar se corrige la demanda de acuerdo a las características sociales de la comunidad o el poblado en este caso el de Boquerones, las que son tomadas de la siguiente tabla.

Tabla:1 Estimación de la demanda de potencia.

Demanda para distintas poblaciones	
Población (habitantes)	Demanda de potencias kW
500-1000	15-35
1000-2000	35-80
2000-4000	80-180
4000-10000	180-500
10000-20000	500-1200

2.2 Obras civiles y Evaluación del recurso hidro energético

Componentes de una Micro Central Hidroeléctrica

Para el establecimiento de una MHC, es importante considerar los siguientes componentes:

Obras civiles

Existen varias posibilidades para el diseño general de un proyecto microhidro exitoso. Sin embargo, en este trabajo se tratara únicamente el esquema de una tubería de presión de mayor longitud y caída vertical o salto de agua mayor a 20 m cuyos componentes principales son((SAG), 2009):

- a. Canal receptor,
- b. Desarenador
- c. Cámara de carga y bocatoma
- d. Tubería de presión y anclajes.

Pero existen otros factores que se deben tomar en cuenta antes de diseñar el conjunto de obras civiles. Por ejemplo: el agua arrastra pequeñas partículas de arena que son abrasivas y causan rápido desgaste en los tazones si no se retienen antes de entrar a la tubería depresión. Los sedimentos también pueden bloquear la entrada de la tubería si la bocatoma no se instala apropiadamente.

El caudal de las quebradas es variable durante el año pero las obras civiles y el equipo electromecánico se diseñan para manejar un caudal estable. Por lo mismo, la bocatoma debe derivar el caudal estimado en el diseño tanto en época de lluvias como en verano y la función principal de la bocatoma es asegurar que el agua llegue a la tubería con la quebrada a bajo caudal.

Durante la estación lluviosa las estructuras de derivación de caudal (presa y bocatoma) requieren de mucha atención, pues durante las avenidas la corriente arrastra materiales pesados que, acumulados en la base de la bocatoma pueden causar apilamientos dañinos a la presa, bocatoma y vertedores.

El efecto de la turbulencia es otro factor que requiere mucha atención en las corrientes cercanas a la presa pues las alteraciones súbitas en la dirección de la corriente originan turbulencia y bolsas de aire que inducen a pérdidas de energía y agitan los sedimentos facilitando su entrada en la tubería(SALAS, 2008).

Cuando el agua que circula por la tubería se detiene bruscamente, debido a un bloque o cerca de la turbina, origina un golpe de ariete que resulta en una súbita elevación de la presión interna que puede romper fácilmente la tubería. Además, estas sacudidas hacen que la tubería se desestabilice y se suelte de los anclajes si no está firmemente sujeta(SALAS, 2008).

Se acepta como norma general que las centrales hidroeléctricas pequeñas son tanto más económicas cuanto menor es su caudal de diseño y mayor es su altura de caída.

De acuerdo a la experiencia acumulada por especialistas en la materia(SALAS, 2008), la composición media de los costos sería la siguiente:

- a) Ingeniería: 20 %
- b) Obras Civiles: 30 %
- c) Equipos Electromecánicos: 50 %

La capacidad de generación de energía mediante el empleo de agua está determinada por la altura o caída (energía potencial) que se obtiene y del caudal disponible. La altura depende de la topografía del terreno del caudal de las características del río o arroyo que se utiliza.

La altura es de 27.8 m se realizó según datos aportados para el proyecto de electrificación de poblados de montañas de aportado por la ONURE Villa Clara.(Diaz, 2017)

El caudal se calculó utilizando el método del recipiente. Estimado in situ.

Tiempos registrados

T1=1.5 s

T2=1.8 s

T3 =1.9 s

Cálculo del tiempo promedio

Existen varias vías de conocer el caudal en los ríos y arroyos sin contar con equipos sofisticados, en este trabajo se realizó la medición utilizando el método del recipiente.

El cálculo del tiempo se realizó tomando el tiempo que demoró en llenarse el recipiente y se realizaron tres mediciones para sacar una media.

Determinación del caudal

Caudal

El caudal se define como la cantidad de agua en movimiento por la corriente de la quebrada medida en galones por minuto (gal/min), litros por segundo (l/s) o metros cúbicos por segundo (m^3/s).

La precisión en la medición de caudales deberá siempre considerarse como un factor relacionado directamente con la capacidad potencial del sistema a instalar, ya que este define el diseño del mismo bajo los siguientes conceptos((SAG), 2009):

- El caudal de diseño siempre debe ser un porcentaje inferior al caudal aforado.
- El caudal de diseño determina el diámetro de la tubería de presión.
- El caudal de diseño determina el diámetro de las boquillas

La precisión en la medición del caudal depende de la demanda de electricidad prevista según la encuesta de los beneficiarios (número de casas) y de la caída vertical disponible en el sitio; por ejemplo, si el caudal disponible es mayor que lo requerido para el proyecto y de antemano se sabe que es sostenible durante todo el año, no es necesario hacer una medición rigurosa. En todo caso, el mejor momento para efectuar los aforos es al final de la época seca cuando las quebradas mantienen su caudal más reducido ((SAG), 2009).

El caudal se calcula integrando los tiempos y utilizando el valor del recipiente

-El recipiente utilizado por este método es un envase de 20 litros

Canales y desarenadores

El cálculo hidráulico de los canales es un paso importante ya que le confiere al diseño el primer paso.

Canales

El canal es un componente importante de las obras civiles de una microcentral hidráulica, su función principal es conducir el agua desde la bocatoma hasta la cámara de carga, pasando por los desarenadores y otros mecanismos que se construyen en el trayecto. (Hilda Gonzales Fernandez 2012)

Tipos de canales

Los canales se clasifican según características geométricas y por el material de construcción (Hilda Gonzales Fernandez 2012).

Características geométricas

- Rectangular
- Trapecial
- Triangular
- Circular
- Parabólica

Características del material de construcción

- Tierra
- Concretos
- Mampostería de piedra
- Madera
- Tubería de PVC

Un aspecto de importancia es el valor del talud recomendado para cada canal así como el ángulo del canal los que se exponen en la tabla: 2.3

Tabla: 2.3 Valores de talud recomendados en canales de sección trapezoidal

Material	Talud ($Z=\cot\theta$)
Arena	3.00
Arena y greda	2.00
Greda	1.50
Greda y arcilla	1.00
Arcilla	0.58
Concreto	0.58

2.3 Velocidad del agua

Un flujo de agua excesivamente rápido erosionará las paredes de un canal, mientras que velocidades demasiado bajas permitirán el depósito de sedimentos y su obstrucción.

Para estas velocidades se representan las recomendadas según la bibliografía, en la tabla a continuación se exponen las velocidades recomendadas (Hilda Gonzales Fernandez 2012).

Tabla 2.4 Velocidades recomendadas para evitar la erosión .

Material	Menos de 0.3 m de profundidad (m/s)	Menos de 1 m de profundidad (m/s)
Arena	0.3	0.5
Greda arenosa	0.4	0.7
Greda	0.5	0.8
Greda de arcilla	0.6	0.9
Arcilla	0.8	2.0
Mampostería	1.5	2.0
Concreto	1.5	2.0

Ya con estos datos y consideraciones se puede diseñar el canal

2.4 Diseño del canal

Este diseño consiste en determinar las dimensiones hidráulicas y geométricas. Para ello nos apoyamos en la fórmula de Manning donde la velocidad está en función del radio hidráulico, pendiente y rugosidad del material de construcción.(Hilda Gonzales Fernandez 2012)

El valor del número de Froude es 1.

La velocidad del flujo en la sección es numéricamente igual a la velocidad de las ondas de gravedad producidas en aguas poco profundas por perturbaciones locales

$$v = g \times D$$

- La energía específica es mínima para un gasto dado.
- La fuerza específica es mínima para un gasto dado.
- El gasto es máximo para un valor dado de energía específica.
- La carga velocidad es igual a la mitad de la profundidad hidráulica.
- El segundo rasgo es posiblemente el que con más facilidad permite identificar de forma visual la naturaleza del régimen de circulación.

Como las ondas de gravedad se mueven con una velocidad v en todas direcciones y, aunque la velocidad en la superficie no coincide con la velocidad media, no se aleja mucho de ese valor y para condiciones practicas pueden considerarse

iguales, por lo tanto, si el régimen es supercrítico ($NF > 1$ o $v < (gD)^{1/2}$, las ondas de gravedad no pueden propagarse aguas arriba. En el caso de que el flujo esté circulando con un régimen sub crítico las ondas de gravedad si pueden propagarse en dirección aguas arriba .El estudio del estado crítico se refiere principalmente a una determinada sección del canal donde tiene lugar este tipo de régimen, y que se denomina sección crítica. Si la condición de estado crítico ocurre a lo largo de un tramo del canal se dice que existe un flujo crítico en el canal.(Te, 1994, Méndez, 2006)

Como indica la condición de estado crítico, la profundidad crítica depende de la geometría del canal cuando el gasto es constante. Por lo tanto en un canal prismático la profundidad crítica es constante a lo largo de dicho canal e independiente de la pendiente del fondo.

El caudal se calcula según ecuación de continuidad

Donde:

V = Velocidad m/s

N = coeficiente de rugosidad

R = radio hidráulico (A/P)

A = Área de la sección transversal

P = perímetro mojado (contacto del agua con el fondo y las paredes)

S = pendiente del fondo del canal

Adicionalmente es necesario conocer algunas tablas que nos facilitaran el cálculo de las dimensiones y otras características del canal las que se exponen en la tabla 2.5

Tabla: 2.5 Velocidades mínimas recomendadas para evitar sedimentación

Calidad del agua	Velocidad mínima (m/s)
Con sedimentos finos	0.3
Con arenas	0.5

Tabla: 2.6 Características de la sección transversal

Tipo de sección transversal	Perímetro mojado P (m)	Área transversal A (m ²)
Rectangular	$b+2y$	$b*y$
Trapezoidal	$b+2y$	$y(b+yz)$
Triangular	$2y$	$y* 2z$

Donde $Z = \cot \theta$

Valor de la pendiente **S** para microcentrales se recomienda valores no mayores de 2 o 3 mil. Para el caso del tubo-canal las pendientes adecuadas son 5 o 6 por mil.

El ángulo del talud en canales rectangulares $Z = n0$, lo que indica que el tirante será dos veces el tirante de agua.

El valor del fondo se tomará como el doble del tirante.

Cálculo del Área y el perímetro

El canal que se construye tiene forma trapezoidal para lo que se hace necesario definir sus variables de acuerdo a su tipología.(Méndez, 2006, Te, 1994)

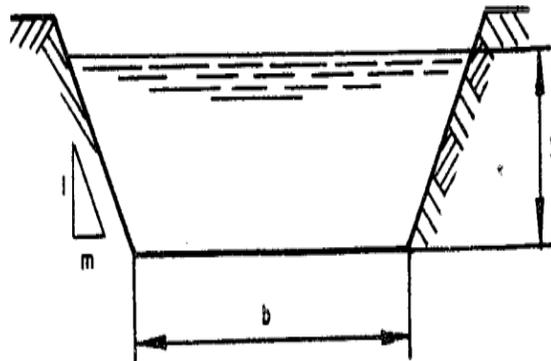


Figura: 2.1 Geometría del canal trapezoidal y sus variables

Donde:

b = ancho del canal

y = tirante o profundidad del agua

T = espejo de agua

Atendiendo a la configuración del canal el cual se encuentra construido hasta una longitud de 35 m y el que contará de una longitud total de 64 m se definen algunos valores del mismo según proyecto. (Días, 2017).

Longitud total del canal en base a las condiciones del terreno ya que muchos de estos valores se acomodan para permitir que no exista un rebose del área por la que circula el gasto y se permita evacuar por las laderas del canal los aludes y avalanchas de materiales desprendidos en épocas de máximo caudal producto de las lluvias.

$L = 60$ m

$H =$ altura total del canal = 70 cm = 0.70 m

$y = 0.47$ m

$b = 0.40$ m

$T = 0.620$ m

Diseño del desarenador

El diseño comprende el cálculo de la longitud de decantación y el ancho correspondiente. Los demás componentes son asumidos por criterios y de acuerdo al flujo del agua. (Council, 2004, Te, 1994)

Aquí se deben tener en cuenta que la ecuación de continuidad se aplicará teniendo en cuenta los nuevos conceptos de las variables.

La longitud del canal es otro aspecto importante a conocer en estos proyectos

Consideraciones para el diseño:

$$0.2 \leq V_h \leq 0.4$$

$$2 \leq f \leq 3$$

$$L_e = L_s = 1.5W$$

En este momento debemos tener en cuenta las velocidades admitidas en la decantación, ya que si tenemos altas velocidades las partículas no se decantan y si es el caso contrario existe acumulación del fluido y se pierde la energía. En la tabla a continuación se exponen las velocidades recomendadas.

Tabla: 2.7 Velocidad de decantación de partículas de arena.

Tamaño de partículas (mm)	Vd (m/s)
0.1	0.01
0.3	0.03
0.5	0.05
1.0	0.1

2.5 Cámara de carga y tubería de presión

Cámara de carga:

Las cámaras de carga se aplican a sistemas hidroeléctricos como estructuras de transición entre el canal de aducción y la tubería de presión. Estos tanques tienen limitadas condiciones de regulación, debido fundamentalmente a los caudales que se utilizan en las turbinas, lo que no permite aprovechar el volumen de este tanque para el almacenamiento de agua, aunque es posible que se presenten casos de tanques de carga que trabajen como reguladores horarios, como es el caso de los sistemas que utilizan pico turbinas.

La cámara de carga cumple funciones de amortiguación para evitar sobrepresiones en la conducción forzada, esta última generalmente es de acero soldado, polietileno de alta densidad, hormigón o PVC y se empalma con la casa de máquinas desarrollándose en una pendiente.

El volumen de agua en el tanque sirve para amortiguar las ondas de presión (golpe de ariete) causadas por el cierre brusco de las turbinas, restableciendo rápidamente la estabilidad. Por lo que debemos calcular la pérdida de carga real.

Cálculo de la altura mínima entre el eje de ingreso a la tubería y el nivel de agua en la cámara.

El cálculo de la altura mínima permite conocer el valor de la profundidad necesaria en la cámara con respecto al tubo de entrada para no perder el salto.

Pérdida de carga causada por el enrejado

Estas pérdidas se calculan debido a fricción existente en el enrejado la cual frena el flujo y se necesita conocer el valor para tener como consideración el aumento o disminución de la energía generada.

Esta formulación permite el uso de la ecuación sin tener en cuenta la forma de la barra y el ángulo de la reja y permite la valoración de las pérdidas en condiciones parcialmente obstruidas.

Cálculo de la sección de la reja

La presencia de la reja produce una contracción de la vena líquidas, por lo que se reduce el caudal que la atraviese.

Diseño hidráulico

La energía contenida en un flujo incompresible que circula por el interior de un tubo se obtiene mediante la ecuación de Bernoulli:

Caudal volumétrico

El valor de caudal se refiere al caudal que entra a la tubería forzada o cámara de la tubería. Y se calcula utilizando la ecuación de continuidad

Calculo del Número de Reynolds

El número de Reynolds nos dirá el tipo de flujo que circulará por la tubería para valores de Reynolds.(Victor L. Streter, 2013)

$R \leq 2000$ el flujo será laminar

$R = \text{entre } 3000-4000$ el flujo será de transición

$R \geq 4000$ el flujo será turbulento

Donde el valor de la viscosidad cinemática

Está en relación de la velocidad por el producto del diámetro de la tubería con la diferencia de la viscosidad dinámica

Pérdida de carga por fricción

Todas las pérdidas que ocurren por la fricción de los elementos con el fluido provocan la pérdida de energía y por consiguiente hacen el sistema hidráulico ineficiente y causan daño.

2.6 Potencia a instalar

Otro aspecto importante es conocer la potencia a instalar y la producción ya que proporciona la selección del generador y la turbina.

El factor de eficiencia de la central, que es igual al producto de los rendimientos de los diferentes equipos que intervienen en la producción, como Rendimiento de la turbina, Rendimiento del generador Rendimiento del transformador de salida.

Según el tipo de equipo y el fabricante, el rendimiento de la maquinaria varía, pero a efectos de una primera aproximación, se puede tomar como factor de eficiencia para una micro central hidroeléctrica moderna el valor de 0,85.

Resumen del procedimiento de cálculo para el diseño hidráulico

En base a lo antes mencionado y a manera de resumen se exponen los pasos simplificados que se debe seguir en el diseño hidráulico de un microcentral hidroeléctrico.

- **Estimación de la demanda**
- **Evaluación del recurso hidro energético**
- **Cálculo del tiempo promedio**
- **Determinación del caudal**
- **Diseño del canal**
 - Características geométricas
 - Características del material de construcción

- Velocidad del agua
- Cálculo del área y el perímetro
 - **Diseño del desarenador**
 - **Cámara de carga y tubería de presión**
 - **Cálculo de la altura mínima entre el eje de ingreso a la tubería y el nivel de agua en la cámara.**
 - **Anclajes**
 - **Pérdida de carga causada por el enrejado**
 - **Cálculo de la sección de la reja**
 - **Diseño hidráulico**
 - **Caudal volumétrico**
 - **Calculo del Número de Reynolds**
 - **Pérdida de carga por fricción**
 - **Potencia a instalar**

Capítulo III Análisis de los resultados y cálculos necesarios

En este capítulo se efectúan los cálculos y se dan resultados de la investigación. Comenzando por los cálculos de la demanda y determinando el caudal y el salto para las demás apreciaciones.

3.1 Estimación de la demanda y diseño hidráulico

La demanda se realizó según datos de pobladores que es de 625 habitantes utilizando Ec. 1

$$Da = \frac{\text{demanda de potencia según habitantes}}{2} = \text{valor kW}$$

$$Da = \frac{15 + 35}{2} = 25 \text{ kW}$$

Cálculo del caudal

El valor del salto es de 27.8 m

El tiempo se calculó según Ec.2 la que sirve para el cálculo del caudal

$$T_p = (4.5 + 4.8 + 4.9) / 3$$

$$T_p = 1.73 \text{ s}$$

$$Q = \frac{20 \text{ litros}}{1.73 \text{ s}} = 11.56 \text{ l/s}$$

$$Q = 11.5 \text{ l/s} = 0.0115 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo del canal

Para el cálculo del canal se utilizó el software MATHCAD

Realizando el cálculo inicial del tirante crítico (Felices, 2011)

The screenshot shows a Mathcad worksheet titled "Cálculo del tirante normal". The main calculation area contains the following steps:

- Datos:**
 - $Q := 0.0115 \frac{m^3}{s}$
 - $b1 := 10cm$
 - $b2 := 2.1m$
 - Given $yn := 1m$
 - $So := 0.01$
 - $n := 0.015 s \cdot m^{-3}$
 - $z := 1$
- Sección trapezoidal:**
 - Equation: $Q = \frac{1}{n} \cdot [(b1 + z \cdot yn) \cdot yn] \cdot \left[\frac{(b1 + z \cdot yn) \cdot yn}{b1 + 2 \cdot yn \cdot \sqrt{1 + z^2}} \right]^{\frac{2}{3}} \cdot So^{\frac{1}{2}}$
 - Result: $yn1 := \text{Find}(yn) = 7.83 \cdot cm$
 - Equation: $An1 := (b1 + z \cdot yn1) \cdot yn1 = 0.014 m^2$
 - Given **Sección Rectangular**
 - Equation: $Q = \frac{1}{n} \cdot (b2 \cdot yn) \cdot \left(\frac{b2 \cdot yn}{b2 + 2 \cdot yn} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot So^{\frac{1}{2}}$
 - Result: $yn2 := \text{Find}(yn) = 0.014 m$
 - Equation: $An2 := b2 \cdot yn2 = 0.03 m^2$
 - Given **Sección Triangular**
 - Result: $\frac{An1}{An2} = 0.47$

Figura 3.1 Cálculo del tirante crítico por MATHCAD

Utilizando las ecuaciones, 5, 6, 7, siguientes calculamos los valores del área, perímetro y radio del canal

$$A = y(b + zy)$$

$$A = 0.47 \cdot (0.4 + 0.47 \cdot 0.58)$$

$$A = 0.32 m^2$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

$$P = 0.4 + 2 \cdot (0.47) \cdot (\sqrt{1 + (0.58)^2})$$

$$P = 1.48 m$$

$$R = A/P = 0.32/1.48 = 0.22 m$$

Ahora procedemos con estos datos a calcular la velocidad por la expresión Ec.4

$$V = \frac{1}{0.013} \sqrt[3]{0.22^2} * \sqrt{0.002}$$

$$V = 1.27 \text{ m/s}$$

Cálculo del desarenador

Consideraciones técnicas y cálculo por la expresión 8 realizando despejes en la misma ecuación obtenemos:

$$V_h = \text{velocidad de diseño} = 1.27 \text{ m/s}$$

$$f = 2.5$$

$$w = 1.5 \text{ m}$$

La profundidad de decantación se toma el valor de 0.5 m para que el flujo sea constante.

Las partículas de arena esta entre 0.5 y 1.0 mm y las velocidades de decantación en relación al tamaño de las partículas se exponen en la siguiente tabla y tomamos un valor medio de ambas características 0.07 m/s (ver tabla: 2.7)

$$Q = A * V_h$$

$$Q = 0.75 \text{ m} * 1.27 \text{ m/s} = 0.95 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = W * D_d$$

$$A = 1.5 \text{ m} * 0.5 \text{ m} = 0.75 \text{ m}^2$$

La longitud de decantación está referida al largo del decantador y al ancho por esa razón existen dos longitudes para el cálculo las que deben dar los valores propios del decantador.

Longitud en relación al ancho

Realizando cálculo de la expresión 8

$$L_d = \left(\frac{0.95}{1.5 * 0.07} \right) * 2.5 = 3.17 \text{ m}$$

El valor del largo del decantador en relación al ancho es de 3.17m

Longitud en relación al largo del decantador en función a las velocidades Ec.9

$$L_d = \frac{1.27}{0.07} * 0.5 * 2.5 = 22.68 \text{ m}$$

Cálculo de la pérdida de carga real Ec.10

$$\Delta J_e = 0.25 \frac{1.27^2}{19.6} = 0.021 \text{ m}$$

Cálculo de la altura mínima entre el eje de ingreso a la tubería y el nivel de agua en la cámara. Ec.11

$$H_{\text{mín}} = 0.4 * 1.27 \sqrt{0.203} = 0.23 \text{ m}$$

Pérdida de carga causada por el enrejado

Calculando el valor de R

$$R = \frac{\text{área neta}}{\text{área total}} = \frac{1 \text{ m}^2}{0.32 \text{ m}^2} = 3.13$$

$$\Delta J_r = (1.45 - 0.45(3.13) - 3.13^2) \frac{1.27^2}{19.6} = 0.81 \text{ m}$$

Cálculo de la sección de la reja Ec. 12

$$S = \frac{4.23 * 10^{-3}}{0.9 * 1.27} = 3.7 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Cálculo de la longitud del tubo ecuación 13

$$L = \frac{4.23 * 10^{-3}}{0.07 * 3.7 * 10^{-3}} = 16.33 \text{ m}$$

3.2 Diseño hidráulico y Caudal volumétrico

$$Q = 0.07 \frac{\pi 0.2^2}{4} = 2.26 * 10^{-3} m^3/s$$

Cálculo del tipo de flujo por el valor del Reynolds utilizando ecuación 15

$$Re = \frac{997.1 * 0.07 * 0.2}{894} = 0.016$$

Pérdida por fricción utilizando ecuación 16

$$\Delta J_c = 0.034 \left(\frac{16.33}{0.2} \right) \frac{0.07^2}{19.62} = 0.00069 m$$

3.3 Potencia a instalar Ec. 17

$$P = 9,81 * 0.00226 * 27.8 * 0.85 = 0.53 kW$$

Aunque no es objetivo de este trabajo, creemos necesario recomendar una turbina del tipo Pelton ya que se fabrican en el territorio en la empresa Fabric Aguiar (Planta Mecánica) de Santa Clara.

Diseño del sistema

El diseño del sistema se realizó utilizando el software INVENTOR. Este software se trabajó utilizando las herramientas tridimensionales que aporta por defecto

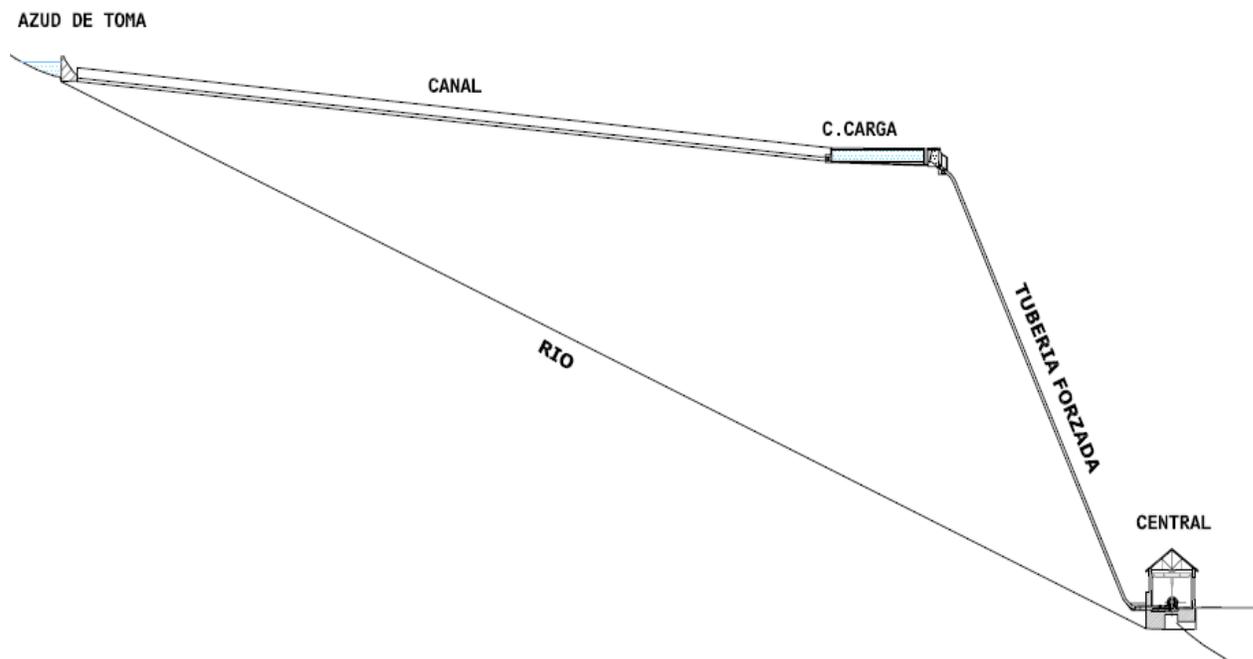
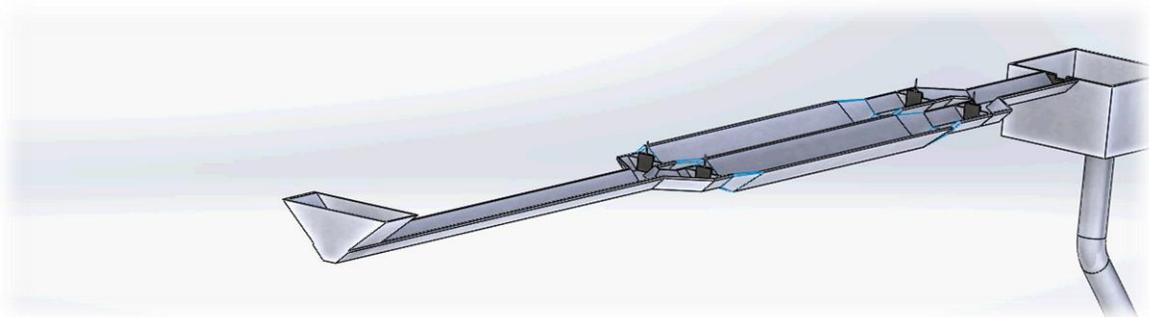
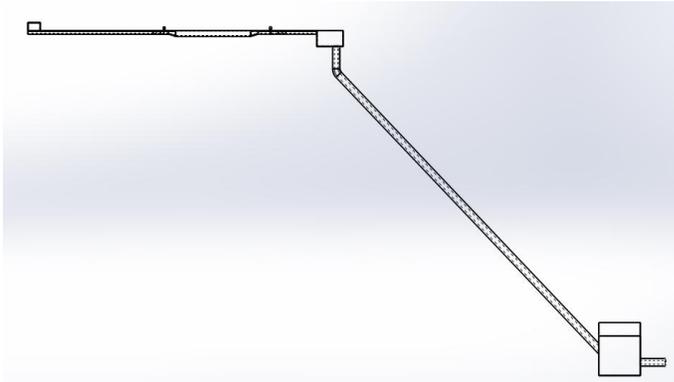


Figura 3.1 Vista en planta de la micro central hidráulica Fuente(Council, 2004)



Conclusiones del trabajo

- En la bibliografía consultada, la energía generada en un micro central hidráulico posee un potencial notable en el ámbito mundial y Cuba dispone de numerosas localizaciones idóneas para la instalación de MCH.

- Se realizó un procedimiento de cálculo para el diseño hidráulico en base a una demanda de 25 kW para 625 habitantes y con el objetivo de minimizar los cálculos.
- El caudal de diseño de la micro central hidroeléctrica es de 4,23 l/s para un canal que cuenta con un área de 0.32 m² con una velocidad en el fluido de 1.27 m/s. El desarenador contará con un área de 0.75 m² para un caudal de 0.95 m³/s con un decantador de 22.68 m de largo por 3.17 m de ancho. Tendrá el sistema una pérdida real de carga de 0.0021 m. El tubo de boca toma está colocado a una altura mínima dentro de la cara de carga de 0.23m, y la tubería forzada tendrá un largo de 16.33 m para instalar una potencia de 0.53kW.

Recomendaciones

- Presentar este procedimiento a las autoridades competentes para que puedan facilitar los cálculos de las obras hidráulicas.
- Realizar el análisis del canal de entrada y del desarenador utilizando software como el GESRAS que calcule y se analice el resalto hidráulico.

Referencias Bibliográficas

- (OLADE), O. L. D. E. 2012. Soluciones Prácticas *In: LATINOAMÉRICA*, O. R. P. (ed.). Perú: Ingeniería sin Fronteras
- (SAG), S. D. A. Y. G. 2009. Guía Metodológica para el Establecimiento de Micro Centrales Hidroeléctricas en Áreas Rurales. Honduras
- COUNCIL, E. R. E. 2004. Guide on How to Develop a Small Hidropower Plant *European Small Hydropower Association.*, 1.
- CUBA, G. D. L. R. D. 2011. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. *In: PARTIDO*, C. C. D. (ed.) Primera ed. Habana: Editorial Política.
- DÍAS, O. M. I. P. F. 2017. *RE: Proyecto de construcción de Microcentral hidroeléctrica poblado de Boquerones*
- DIAZ, I. J. A. 20 de febrero del 2014 2017. *RE: Demanda de electricidad de las regiones Montañozas de Villa Clara (Manicaragua)*. Type to ONURE.
- DIEZ, P. F. 2009. TURBINAS HIDRÁULICAS. [Accessed consultada el 20 de junio del 2017].
- FELICES, A. R. 2011. *Hidráulica de tuberías y canales* España.
- HILDA GONZALES FERNANDEZ , A. S. R. 2012. *Hidrología e Hidráulica Para Ingenieros Civiles*, La Habana, Felix varela.
- LUÍS SOTO ANDRACA, C. M. Á. 2006. *Temas de Ingeniería Hidráulica*, Habana, Félix Varela.
- MÉNDEZ, P. D. A. J. L. 2006. *Hidráulica de Canales*, Cuba, Ciencia y Educación
- ONEI Abril 2014. Censo de población y viviendas *Foresight Cuba*
- SALAS, M. G. 2008. FUNDAMENTOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS PEQUEÑAS Y SUS OBRAS ANEXAS *División de estudios y desarrollo*
- TE, P. D. C. V. 1994. *Hidráulica de Canales Abiertos* Estados unidos de América, McGRAU-HILL Interamericana S.A.
- TELLO, R. A. M. 2003. *PEQUEÑAS HIDROELÉCTRICAS: UNA OPCIÓN FACTIBLE ECONÓMICAMENTE PARA LA ELECTRIFICACIÓN RURAL EN GUATEMALA*. Tesis de grado UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.
- VICTOR L. STRETER, E. B. W., KEITH W.BEDFORD 2013. *Mecánica de los Fluidos* Habana, Felix Varela.

Anexos

Anexo 1: Ecuaciones y formulaciones utilizadas

Cálculo de la Demanda actual

$$Da = \frac{\text{demanda de potencia según habitantes}}{2} = \text{valor Kw} \quad \text{Ec. 1}$$

Cálculo del tiempo promedio

$$Tp = \sum \frac{\text{de los tiempo}}{\text{número de tiempos}} \quad \text{Ec.2}$$

Determinación del caudal

El caudal se calculó integrando los tiempos y utilizando el valor del recipiente

$$Q = \frac{\text{volumen del recipiente}}{Tp} \quad \text{Ec. 3}$$

Cálculo del caudal

$$Q = A * V \quad \text{Ec. 3.1}$$

Cálculo del canal

$$V = \frac{1}{n} \sqrt[3]{R^2 * \sqrt{S}} \quad \text{Ec. 4}$$

Cálculo del área y perímetro del canal

$$A = y(b + yz) \quad \text{Ec. 5}$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2} \quad \text{Ec. 6}$$

$$R = \frac{A}{P} \quad \text{Ec. 7}$$

Cálculo del desarenador

$$Ld = \frac{V_h}{V_d} * d_d * f \quad \text{Ec. 8}$$

$$Q = A * V_h$$

$$A = W * Dd$$

$$Ld = \frac{Q}{W * Vd} * f \quad \text{Ec.9}$$

Donde:

Le= longitud de entrada

Vs =longitud de salida

Donde:

Ld= longitud de decantación

Vh= velocidad horizontal del agua

Vd= velocidad de decantación

A= área de la sección transversal

Dd= profundidad de decantación

W= ancho del desarenador

f = factor de seguridad

Cálculo de la pérdida de carga real

$$\Delta J_e = K_e \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

V= velocidad en la tubería de presión

g = aceleración de la gravedad

K_e = coeficiente de pérdida de carga

Cálculo de la altura mínima entre el eje de ingreso a la tubería y el nivel de agua en la cámara.

$$H_{mín} = C * V\sqrt{D} \quad \text{Ec.11}$$

Donde:

C =constante que varía según algunos autores entre 0.3 y 0.4 o 0.5 y 0.7

V =velocidad media de la tubería de presión (m/s)

D =diámetro interno de la tubería (m)

Pérdida de carga causada por el enrejado

$$\Delta J_r = (1.45 - 0.45R - R^2) \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

$R_r = A_{\text{neta}} / A_{\text{total}}$

ΔJ_r = Pérdida de carga de la reja

V = velocidad a través del área neta

La sección **S** de la reja necesaria será:

$$S = \frac{Q}{\mu * V} \quad \text{Ec.12}$$

Donde:

μ = coeficiente de contracción dependiente de la forma de la barra (ver figura 54)

V= velocidad de aproximación (m/s)

Q= caudal necesario (m³/s)

Cálculo de la longitud del tubo requerido:

$$L = \frac{Q}{A_0 * V} \quad \text{Ec.13}$$

Donde:

Q= caudal máximo esperado (m³/s)

A₀= área eficaz por unidad de longitud de tubo (m)

V= velocidad de entrada al tubo

$$H = \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z \quad \text{Ec.14}$$

Donde:

H= energía total

Z= elevación de la línea de corriente sobre un plano de referencia

p= presión

γ = peso específico del fluido

V= velocidad de la línea de corriente

g= aceleración de la gravedad

Cálculo del tipo de flujo

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu} \quad \text{Ec.15}$$

Donde:

Re =número de Reynolds

V =velocidad media (m/s)

D =diámetro del tubo (m)

μ =viscosidad absoluta del fluido (kgf-seg/m²)

ρ =densidad de masa fluida (kg/m³)

ν =viscosidad cinemática del fluido

Pérdida de carga por fricción

$$\Delta J_c = f \left(\frac{l}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec.16}$$

Donde:

f=factor de fricción (número adimensional)

L=longitud del tubo (m)

D=diámetro del tubo (m)

V=velocidad media (m/s)

g=aceleración de la gravedad (m/s²)

Potencia instalar

$$P = 9,81 * Q * H_n * e \quad \text{Ec. 17}$$

P = Potencia en kW

Q = Caudal de equipamiento en m³/s

H_n = Salto neto existente en metros

e = Factor de eficiencia de la central, que es igual al producto de los rendimientos de los diferentes equipos que intervienen en la producción de la energía:

$$e = R_t * R_g * R_s$$

Ec.18

R_t = Rendimiento de la turbina

R_g = Rendimiento del generador

R_s = Rendimiento del transformador de salida

Anexo 2.

RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA MCH

Con el propósito de que los participantes (instituciones, comunidad, personal técnico y autoridades) en el proceso de implementación de una MCH, cuenten con mayores elementos para su planificación, es importante considerar una serie de recomendaciones que deben ser tomadas en cuenta para lograr el éxito en esta actividad.

Preselección de sitios adecuados

Elegir el sitio adecuado que permita pre-factibilidad del proyecto, evitando de esta manera imprevistos de orden mayor que signifiquen un riesgo para la implementación del mismo.

Medición y monitoreo de caudales

Los caudales de las fuentes de agua previamente seleccionados, deben ser monitoreados en distintas épocas del año para conocer las variaciones cíclicas de las fuentes, enfatizando en la medición del caudal en el verano para tomar la información recolectada como referencia del caudal mínimo.

La medición del caudal mínimo es importante para determinar la potencia que se puede generar permanentemente y la capacidad del equipo electromecánico que se debe instalar.

Equipo y materiales disponibles

Es importante considerar el tipo y la disponibilidad del equipo electromecánico (turbina, generador, etc.), los materiales necesarios y costos actuales.

Infraestructura y distribución comunitaria

La condición de las comunidades con una amplia e irregular dispersión de viviendas, reduce la calidad del potencial de energía eléctrica que ha de recibir cada abonado, así también, encarecerá los costos globales del proyecto.

Además, es preciso efectuar un levantamiento de la demanda por el número de casas ubicadas dentro del radio de 1.0 km y conocer cuántas familias estarán dispuestas a pagar por el servicio de electricidad y aportar la mano de obra requerida.

La situación de la considerable distancia desde el sitio de la casa de máquinas hasta las comunidades es un factor que encarece la implementación de sistemas de hidro energías.

Condición de la demanda comunitaria y sus responsabilidades

Se deberá determinar si en la comunidad seleccionada priva el deseo de electrificación local, disposición a pagar y capacidad para operar el proyecto.

Verificar la viabilidad en base a la demanda versus el potencial de generación eléctrica de la fuente de agua seleccionada. Por lo tanto se debe considerar la relación de costo beneficio previo a la implementación de estos proyectos, ya que la relación de oferta y demanda podría no llegar a satisfacer las necesidades del usuario respecto al costo y aporte de la contraparte local.

Para garantizar el éxito, la instalación se hace con la activa participación de la comunidad y su compromiso de trabajo. De esta forma se puede garantizar la sostenibilidad del proyecto pues asegura el contacto de los residentes con todos los componentes y procesos de construcción y operación del micro central. Solo así se lograra una verdadera y eficaz transferencia tecnológica.

Gestión y manejo de proyectos de MCH

Al momento de planificar la ejecución de un proyecto MHC, se deberá de considerar siempre el marco institucional y procedimientos legales-administrativos relacionados a estos, a fin de abordar las instancias pertinentes.

La implementación de proyectos de hidro energías se deberá manejar de una manera integral hacia el manejo del recurso hídrico (microcuenca), a fin de garantizar la sostenibilidad de los mismos, previendo el involucramiento de la población en su totalidad en cada fase del proyecto.

Para la gestión de fondos se deberá de involucrar a las comunidades beneficiadas como principales actores en este proceso, ya que es en ese momento en donde se deben de dejar establecidas las responsabilidades de las distintas partes al momento de ejecutar estos tipos de proyectos.

Es así que, preferiblemente se deben presentar los resultados del estudio preliminar a la comunidad en asamblea pública y abierta, sobre estimando los costos generales y subestimando la potencia disponible. Explicar las responsabilidades para financiar, operar y administrar el proyecto.

Otras recomendaciones

Aspectos Medioambientales

Las centrales hidroeléctricas pequeñas están consideradas como fuentes de generación amigables para el medioambiente, pero pueden producir algunas alteraciones que es preciso determinar para implementar medidas de mitigación:

- **Durante la construcción**, se deberá cuidar la instalación de faenas, movimientos de tierra, modificación de taludes naturales, disposición de desechos, tránsito de vehículos, etc.
- **Durante la explotación**, se deberá tomar los resguardos por las disminuciones de caudales que se puedan originar en tramos del cauce natural del cual se derivó el canal alimentador, o de los terrenos inundados por una eventual obra de regulación en bocatoma.