



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN

TRABAJO MONOGRAFICO

**“DISEÑO DE UNA MICRO HIDROELÉCTRICA UBICADA EN LA COMARCA
LAS LAJAS. MUNICIPIO DE TEUSTEPE. DEPARTAMENTO DE BOACO”**

**Para optar al Título de
Ingeniero en Eléctrica**

Elaborado por:

Br. Denis Francisco Juárez Balmaceda

Br. José René Reyes Padilla

Tutor:

Msc. Ing. Cedrick Dalla-Torre

Managua, Nicaragua

Junio, 2022

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
3. JUSTIFICACION	3
4. OBJETIVO (GENERAL Y ESPECIFICOS)	4
5. MICRO HIDROELÉCTRICAS	5
6. ASOCIACIÓN DE MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DE BOACO.	20
7. DISEÑO DE LA PLANTA MICRO HIDROELÉCTRICA	29
8. COSTOS DEL PROYECTO	46
9. CONCLUSIONES	47
10. RECOMENDACIONES	48
11. BIBLIOGRAFÍA	48

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con amor Mi Madre María Balmaceda Ruiz que me ha dado la existencia y en ella la capacidad por superarme y desear lo mejor en cada paso por este camino difícil y arduo de la vida.

También es dedicado con cariño a mi Esposa Amy Morales Ortiz, por estar siempre apoyándome de forma incondicional para seguir adelante en mi vida profesional, la cual me ha ayudado a poder seguir y tener un mejor futuro.

Denis Francisco Juárez Balmaceda

AGRADECIMIENTO

A nuestro a Dios padre, gracias por siempre darme sabiduría para saber cuál es el camino correcto y poder estar hasta donde nos ha permitido llegar al lado de nuestros seres queridos.

Agradezco a nuestro tutor Ing. Cedrick Elksnherr Dalla torre Pinales por haberme guiado en el desarrollo de este trabajo investigativo y haber llegado a la culminación del mismo.

A la Universidad Nacional de Ingeniería por haberme permitido entrar a la carrera de Ingeniería Eléctrica, y ser un gran profesional, para poder trabajar en lo que tanto me apasiona.

Denis Francisco Juárez Balmaceda

DEDICATORIA

A mi padre, José René Reyes (q.e.p.d.) que en su tiempo me formo con buenos hábitos, valores y sentimientos los cuales a lo largo de mi vida me han ayudado en momentos difíciles.

Dedico con mucho amor y cariño a mi esposa Cristhel de los Ángeles Galeano Duarte, mis hijos América Renata Reyes Galeano y Junior Matheo Reyes Galeano, a mi suegra Martha Lorena Duarte Díaz quienes han estado en momentos de infinita felicidad y tristezas a mi lado siendo mi mayor motivación para nunca rendirme y siempre seguir adelante.

José Rene Reyes Padilla.

AGRADECIMIENTO

El principal agradecimiento a Dios y la Virgen María quienes me han guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mi familia por su comprensión y apoyo incondicional a lo largo de mi vida y estudios Julio Santiago Cruz Bermúdez, Martha Rosa Reyes Duarte y Venturina Reyes Duarte.

En general a todos y cada uno de los docentes que estuvieron presentes a lo largo de mi carrera que hicieron posibles la realización y culminación de este estudio.

José Rene Reyes Padilla.

RESUMEN

En el presente trabajo monográfico, se realizó un diseño de un sistema generación hidroeléctrica para la comarca Lajas en el municipio de Teustepe del departamento de Boaco. El suministro del agua se obtiene de la quebrada La Flor, donde se hizo un estudio respecto a los puntos de derivación. Se utilizó la técnica rectangular para determinar el flujo de agua por cada uno de los tramos que se definieron en el diseño.

En la comarca Las Lajas, hay un total de 27 viviendas, para el diseño de la Micro Hidroeléctrica se consideró un promedio de consumo de 150kw mensual por casa de habitación. Se determinó la tubería de presión y se consideró una distancia del tramo de 112mts, para ello se utilizará tubería PVC SDR-41 de 8" de diámetro, desde el punto de derivación hasta el punto final.

También, habrá un cuarto de máquinas estará instalado el equipo generador (electromecánico), dicho equipo estará conformado por: Turbina tipo Pelton, generador y un sistema que controle la carga.

I. INTRODUCCIÓN

El propósito de este estudio es la formulación de un proyecto de una mini hidroeléctrica generando energía renovable, sostenible y a bajo costo, que involucre a la comunidad. El desarrollo de esta investigación se llevará a cabo en la comarca Las Lajas, municipio de Camoapa, departamento Boaco. En Nicaragua son de gran importancia los proyectos de generación de energía eléctrica en zonas rurales aisladas. Esta propuesta de investigación monográfica incluye diseño y análisis de presupuesto tomando en cuenta los esfuerzos del Gobierno que están dirigidos a aumentar la cobertura eléctrica, teniendo como meta pasar del 65% en 2017 al 84% para el 2030.

El aprovechamiento de la energía renovable se ha incrementado especialmente en países que cuentan con abundantes recursos naturales (Mares, Ríos, volcanes etc.) son utilizados a gran escala. Sin embargo, el desarrollo de tecnologías para la hidroeléctrica a pequeña escala no ha tenido el mismo avance, especialmente en países en vías de desarrollo como Nicaragua donde las energías renovables aún no son consideradas como primera alternativa en los planes energéticos, actualmente la cobertura eléctrica de Nicaragua llega a un 60-68%, según el presidente de la Comisión Nacional de Energía.

Actualmente en la comarca antes mencionada existe una alta vulnerabilidad entre las familias de extrema pobreza, alta dispersión poblacional y complejidad geográfica, que impiden la extensión de la red, para estas zonas es necesario considerar el aprovechamiento estratégico de las energías renovables, según las condiciones y recursos de cada región geográfica, utilizando tecnología nacional y bajos costos de inversión.

II. ANTECEDENTES

Se realizó un estado del arte con el objetivo de obtener información respecto a trabajos realizados que tenga relación con el tema de investigación, se obtuvieron los siguientes hallazgos.

En el año 2016 se realizó una tesis de investigación en la Universidad Nacional de Ingeniería con tema “Formulación y Evaluación de una Pequeña Central Hidroeléctrica de 600kw en el Rio Tuma”. La Central Hidroeléctrica en el Rio Tuma consiste en un complejo hidroeléctrico dentro de pequeña central hidroeléctrica (600 KW) que aprovecha las aguas del río Tuma, el cual es alimentado por el río grande de Matagalpa. En esta región del país se contempla el desarrollo de otros proyectos hidroeléctricos en cascada, desde la confluencia del río Matagalpa. Todos estos ríos son aprovechados para la generación de energía eléctrica. La generación de electricidad en áreas aisladas fuera del SIN es una actividad que en Nicaragua se está consolidando por medio de la implementación del Plan Nacional de Inversiones en Energías Renovables implementada por el Gobierno de Unidad y Reconciliación Nacional a través de la Empresa Nacional de Transmisión Eléctrica ENATREL , la cual orienta y facilita el desarrollo sustentable del sector energía, para contribuir al desarrollo nacional en un marco de equidad social, crecimiento económico y preservación del medio ambiente. [1]

También en el año 2013, se defendió una tesis “Plantas Hidroeléctricas Estatales. Su Aporte al Desarrollo del País”. Que fue dirigida como tutor el Ing. Ramiro Arcia Lacayo. Que básicamente consistió en la recopilación de la información de las plantas hidroeléctricas: Centroamérica y Santa Barbara. [2]

III. JUSTIFICACIÓN

El trabajo de investigación está dirigido hacia la búsqueda de mejores recursos alternativos y económicos que abastezcan las necesidades imperantes en las comunidades aisladas y olvidadas, siendo una de tales necesidades la dotación de energía eléctrica, ya que, sin electricidad, las poblaciones no son capaces de participar en el desarrollo de una sociedad moderna y tampoco pueden aprovechar sus beneficios. Al contrario, son aisladas y literalmente abandonadas en la oscuridad.

La energía renovable de tipo hidroeléctrica está dando muy buenos resultados en países desarrollados; este no es el caso de Nicaragua debido a que el aprovechamiento de ese recurso tan disponible e inagotable como es el flujo de agua ha sido difundido de una manera significativa; pero la construcción de la micro hidroeléctrica tiene muchas ventajas en lo que respecta a su costo y aprovechamiento para el entorno social. Por lo tanto, mediante este trabajo se busca el proponer una posibilidad de obtener electricidad casera, así sea a pequeña escala, para la población que habita en la comunidad de las lajas municipio Camoapa que deseen un medio limpio y relativamente sencillo de abastecimiento.

Además la llegada de la energía eléctrica a estas comunidades representaría generar nuevas fuentes de ingresos para la comunidad, también se traduciría en un mayor desarrollo de la educación de adultos, un mejor almacenamiento de la comida, nuevas posibilidades de recreación, también mejoraría el ánimo de la gente porque ya no se encuentran aislados del mundo.

Quizá este sea uno de los aportes más valiosos de la iniciativa, motivar a la comunidad a construir con sus propias manos y esfuerzos un sistema de energía renovable que este bajo su propia administración y cuya subsistencia dependa de solamente ellos mismos.

IV. OBJETIVOS

a. Objetivo General

Realizar un diseño de una micro hidroeléctrica para satisfacer la necesidad de demanda de energía eléctrica en la comarca las Lajas, municipio de Camoapa, departamento Boaco.

b. Objetivo Específicos

- Realizar un censo de carga en la comunidad Las Lajas para determinar la demanda de energía eléctrica.
- Hacer un estudio de requerimientos para determinar el equipamiento y componentes que se van a requerir para la micro hidroeléctrica.
- Elaborar un estudio económico para determinar el costo de implementación de la Hidroeléctrica.

V. MICRO HIDROELÉCTRICAS

La disponibilidad de la energía ha sido siempre esencial para la humanidad que cada vez demanda más recursos energéticos para cubrir sus necesidades de consumo y bienestar. Las energías renovables que provienen de fuentes inagotables como el Sol y no emiten gases de efecto invernadero, entre otros beneficios, son una de las piezas clave en la construcción de un sistema de desarrollo sostenible.

Existe una concienciación cada vez mayor sobre los efectos medioambientales que conlleva el actual sistema de desarrollo económico, como son el cambio climático, la lluvia ácida o el agujero de la capa de ozono. Las sociedades modernas, que sustentan su crecimiento en un sistema energético basado principalmente en la obtención de energía a través de combustibles fósiles, se inclinan cada vez más hacia la adopción de medidas que protejan nuestro planeta. Así lo reflejan las actuales políticas nacionales y los acuerdos y tratados internacionales que incluyen como objetivo prioritario un desarrollo sostenible que no comprometa los recursos naturales de las futuras generaciones.

Actualmente las energías renovables han dejado de ser tecnologías caras y minoritarias para ser plenamente competitivas y eficaces de cara a cubrir las necesidades de la demanda. Dentro de estas energías renovables se encuentra la energía hidroeléctrica, como principal aliado en la generación de energía limpia y autóctona. Se denominan mini centrales hidroeléctricas a aquellas instalaciones de potencia instalada inferior a 10 MW.

Esta tecnología puede ser utilizada para autoconsumo de energía eléctrica a pequeña escala. Permite dar acceso a la electricidad en zonas aisladas y da la posibilidad de inyectar los excedentes de energía. Por su naturaleza, puede adaptarse fácilmente a

canales de riego ya existentes. Las centrales hidroeléctricas se clasifican por sus distintas potencias: Micro céntrales hidroeléctricas: hasta 300 [kW]. Mini céntrales hidroeléctricas: hasta 20 [MW]. •

Beneficios Alto factor de planta, debido a la producción constante de energía durante todo el año (asumiendo afluentes constantes). Alta madurez tecnológica, tanto en construcción como en repuestos. Son equipos confiables y duraderos, con una vida útil, superior a 25 años. Disminución de los costos de generación de energía, debido al uso de una fuente renovable. Disminuye emisiones de gases de efecto invernadero, al reemplazar el uso de combustibles fósiles para generar electricidad. Otorga mayor grado de independencia energética. Permite reutilizar y optimizar obras civiles existentes, como son canales y embalses de riego, molinos, descargas de plantas de tratamiento, aplicaciones en ósmosis inversa y recuperación de centrales. [4]

Para su funcionamiento, se requiere de tres elementos clave: carga bruta, caudal constante y una turbina. Existen diversas obras civiles asociadas a una central hidroeléctrica. Aledañas al cauce de agua, se construyen una barrera y una bocatoma; por medio de la barrera se desvía una fracción del caudal de agua original hacia la bocatoma para posteriormente pasar por un desripador (también llamado “desarenador”) que capta los sedimentos que acompañan naturalmente al agua, para su posterior paso a la cámara de carga, que es donde se prepara el flujo que se hará circular a través de la turbina hidroeléctrica ubicada en la sala de máquinas. Es en esta etapa cuando se genera la electricidad que posteriormente pasará a ser transmitida a la red eléctrica o usada para autoconsumo. Finalmente, el agua será conducida al canal de restitución en donde regresa al cauce original del río. [4]

Por la cantidad de potencia generada tenemos la siguiente clasificación según la OLADE Organización latinoamericana de energía.

POTENCIA EN (KW)	TIPO
0-50	MICRO CENTRAL
50-500	MINI CENTRAL
500-5000	PEQUEÑA CENTRAL

Tabla1. Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su potencia Fuente:
ORTIZ Flores Ramiro, Pequeñas centrales hidroeléctricas MC
GRAW HILL, 2001

El estudio del movimiento de los fluidos en un sistema mecánico se denominada como hidrodinámica por el físico suizo Daniel Bernoulli quien según sus investigaciones determino que hay una relación entre la presión, la altura y la velocidad de un fluido ideal (sin viscosidad y sin rozamiento) en circulación y en un conducto cerrado, la energía del fluido es constante a lo largo del recorrido y depende de tres componentes:

Cinética energía que posee debido al movimiento del fluido.

Potencial gravitacional es la energía que posee debido a la ubicación geométrica del fluido.

Energía del fluido es la energía que está relacionada con la presión que posee el fluido.

La siguiente ecuación es la ecuación de Bernoulli en la que se relaciona los tres componentes:

$$\frac{v^2}{2} + P + pgz = constante \quad (\text{Ecuación. 1})$$

Dónde:

V: velocidad

g: aceleración de la gravedad

z: altura en la dirección de la gravedad desde un punto de referencia

P: presión de la línea de corriente

p: densidad del fluido de análisis

Las centrales hidroeléctricas pueden definirse como instalaciones mediante las que se consigue aprovechar la energía contenida en una masa de agua situada a una cierta altura, transformándola en energía eléctrica. Esto se logra conduciendo el agua desde el nivel en el que se encuentra, hasta un nivel inferior en el que se sitúan una o varias turbinas hidráulicas que son accionadas por el agua y que a su vez hacen girar uno o varios generadores, produciendo energía eléctrica.

En la siguiente figura se puede apreciar el esquema de transformación de energía hidráulica en energía eléctrica.

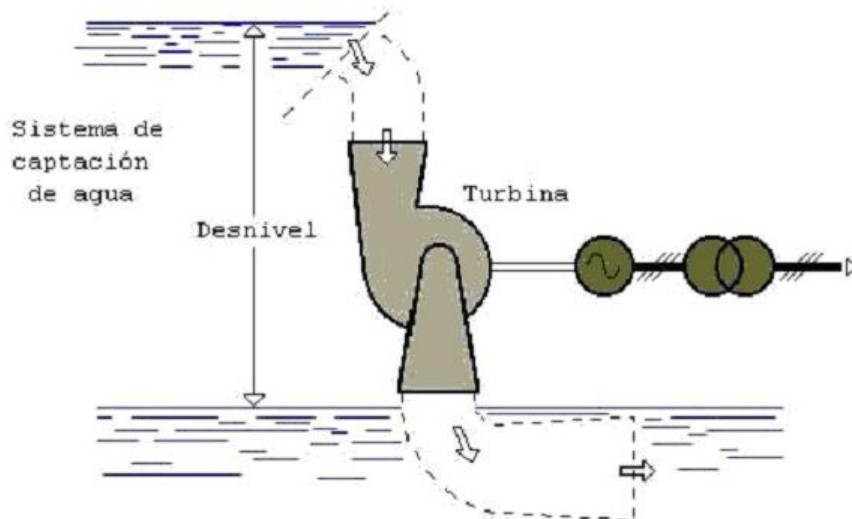


Figura 1. Esquema típico de un aprovechamiento hidroeléctrico Fuente: <http://www.hidropaute.com/espanol/itecnica/produccion.html> [5]

Cuando se hace referencia a la calidad de agua se hace referencia a que las obras captación de agua deben tener obras de filtración de sólidos que pueden afectar la vida útil de la turbina y todas las partes electromecánicas de la central de generación

- Bocatomas
- Presa de derivación
- Canales de conducción
- Aliviadero
- Desarenadores
- Tanque de presión
- Tubería de presión.

Es la estructura que aloja los equipos electromecánicos que transforman la energía cinética del agua en energía eléctrica entre los equipos que están ubicados en la casa de máquinas.

- Empalme entre la tubería de presión y válvula de entrada.
- Válvula dedicada a controlar el flujo de agua hacia la turbina.
- Turbina es la que transforma la energía cinética del agua en energía mecánica.
- Generador transforma la energía mecánica en energía eléctrica.
- Subestación eleva el voltaje de salida del generador para facilitar el transporte de la energía hacia los centros de consumo.
- Canal de salida es la estructura que conduce las aguas turbinadas hacia el río o canal de riego.

La siguiente figura muestra los elementos principales de una mini central hidroeléctrica.

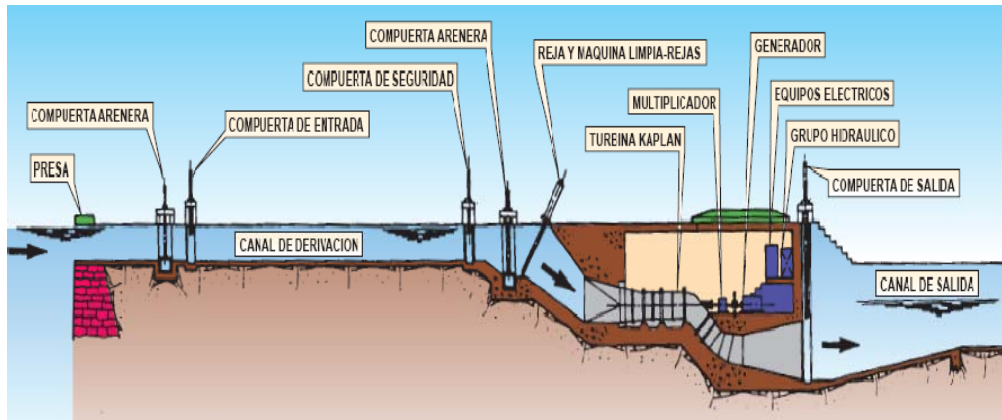


Figura 2. Esquema de una mini central. [5]

- Turbinas

Son máquinas capaces de transformar la energía hidráulica en energía mecánica en su eje de salida. Su acoplamiento mediante un eje a un generador permite, finalmente, la generación de energía eléctrica.

Las turbinas hidráulicas utilizadas en mini centrales hidroeléctricas, deben ser seleccionadas de modo que podamos obtener el mejor rendimiento con las características de caudal y salto específico para cada caso, además debe cumplir las siguientes características facilidad de operación y mantención las turbinas que se utilizan en las mini centrales tienen el mismo principio de funcionamiento que las turbinas que funcionan en las grandes centrales hidroeléctricas a continuación se detallaran algunos conceptos para la correcta elección de la turbina para una mini central. [5]

TURBINAS PELTON [6]

En las turbinas de acción se convierte previamente la energía de presión del fluido en energía cinética, creando un chorro libre en la atmósfera. Este chorro se hace incidir sobre los álabes de un rotor, que gira asimismo en el seno de la atmósfera, desviando el chorro, apareciendo por ello un par sobre él que se utiliza para extraer la energía.

La turbina de chorro libre fue inventada alrededor de 1880 por Lester Pelton , quien después le dio su nombre. Por lo tanto, la materialización más común de este tipo de máquinas es la turbina Pelton. En la figura 1 se muestra el esquema de una de ellas. Son máquinas robustas y simples, capaces de un buen rendimiento. [6]

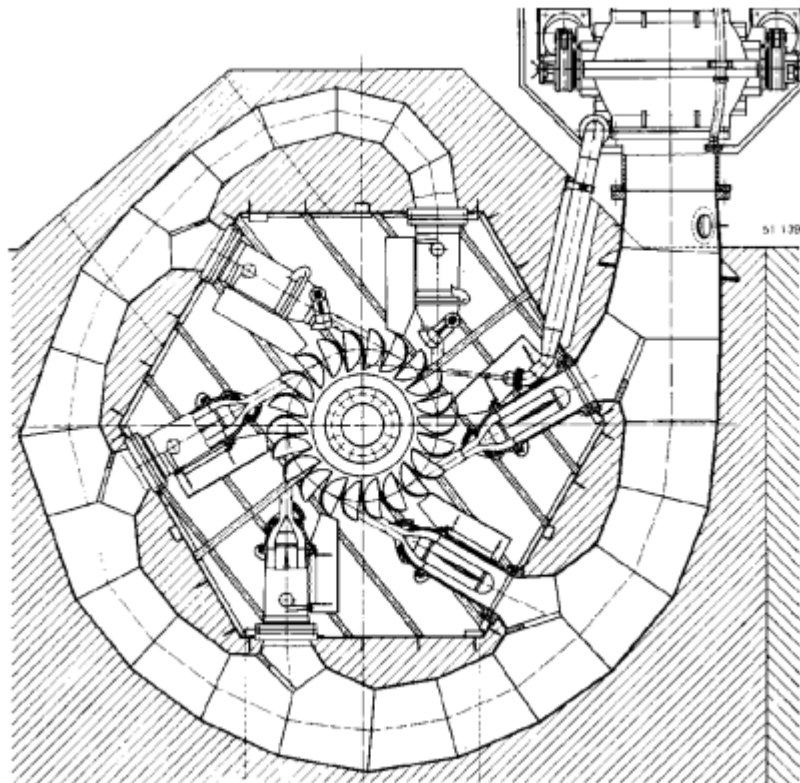


Figura 2. Turbina Peltón. [6]

El chorro se crea por medio de una tobera estacionaria convergente cónica, denominada inyector. Este inyector va dotado de una espiga central axilsimétrica capaz de moverse axialmente, la cual controla el área de paso. En la figura se puede apreciar, estando actuada cada una de ellas por una palanca. Se utiliza para variar la carga de la turbina.

El inyector hace incidir la corriente tangencialmente al rotor, ocurriendo la deflexión del chorro sin concurrencia de una variación global de radio significativa y en media en un plano paralelo al eje del rotor y conteniendo al eje del inyector. Con el objeto de aumentar la potencia de una misma turbina, con un determinado salto hidráulico, se añaden mas inyectores repartidos en la periferia, pudiendo llegar a 6 en turbinas de gran tamaño (figura 1). Un número excesivo de inyectores ocasiona una pérdida de rendimiento por interferir mutuamente sus flujos, tanto al ser deflectados como al caer el agua.

El rotor está constituido por un disco que soporta unas cucharas con doble cavidad, periódicamente dispuestas en su periferia, (figura 3). La mejora más significativa hecha por Pelton fue introducir las cucharas dobles simétricas. Mediante un nervio central rígido están diseñadas para deflectar hacia ambos lados del disco el chorro con las mínimas pérdidas,



Figura 3. Doble cuchara. [6]

Estas cucharas están rebajadas en su extremo más externo al objeto de evitar interferir con la cuchara que recibe el chorro plenamente. Debido a la periódica

entrada y salida en carga de las cucharas su resistencia a la fatiga es importante y el par ejercido sobre el eje oscila periódicamente una pequeña cantidad. El rotor puede ser de eje horizontal o vertical. Las verticales no suelen disponer de más de 2 inyectores.

En las grandes instalaciones hidroeléctricas este tipo de turbinas solo es considerada para alturas mayores a 150 metros. Para aplicaciones en micro hidroenergía puede ser usada para saltos mucho menores. Por ejemplo, una turbina Pelton que gira a una alta velocidad de rotación puede ser usada para generar 1 Kw con alturas inferiores a 20 metros. Para potencias más grandes la velocidad de rotación disminuye y el rotor se hace muy grande.

El principio de la turbina Pelton es convertir la energía cinética del chorro de agua en velocidad de rotación de la rueda o rotor. A fin de que esto se haga con la máxima eficiencia el agua debe abandonar las cucharas con una pequeña cantidad de energía cinética remanente.

Debido al gradiente favorable de presión el flujo será laminar y muy aproximadamente ideal e incompresible, por lo que la fórmula de Bernoulli aplicada entre la tubería de llegada en la cual existe una altura neta H_n y la sección de salida a la atmósfera ($P = 0$) permite predecir la velocidad de salida C_0 .

En la salida del inyector:

$$H_i = \frac{c_0^2}{2g} + 0 \Rightarrow c_0 = \sqrt{2gH_i}$$

En la tubería antes del inyector:

$$H_n = \frac{c_e^2}{2g} + \frac{p_e}{\gamma}$$

donde P_e , γ , g y C_e son respectivamente la presión estática manométrica, el peso específico, la aceleración de la gravedad y la velocidad media en la tubería, justo antes del inyector.

Debido a la ineludible disipación en las capas límite de las paredes del inyector la velocidad real media obtenida en el chorro c_0 resulta inferior, lo que se suele tener en cuenta a través de un rendimiento de la tobera k_c (denominado asimismo coeficiente de flujo o coeficiente del inyector):

$$c_0 = k_c \cdot \sqrt{2g \cdot H_n}$$

Este rendimiento es generalmente muy próximo a la unidad, pues el diseño se realiza para obtener un chorro sólido y con las menores pérdidas a cualquier grado de apertura, salvo con aperturas muy pequeñas, debido a la elevada relación perímetro a sección de paso resultante a la salida.

El rendimiento hidráulico, con la máquina actuando con grado de admisión y altura de suministro constantes tiene una dependencia parabólica si los coeficientes son constantes.

Coincide el punto de máximo rendimiento (eficiencia) con el de máxima potencia, es decir con el punto de máxima productividad, lo cual es conveniente económicamente. Los resultados de los ensayos muestran que la velocidad óptima, que corresponde al mejor rendimiento son obtenidos para $0.41 < k_u < 0.5$.

El rendimiento es nulo a máquina parada, así como a una velocidad a la que se anule el par útil, pues la energía extraída del chorro se invierte exclusivamente en las pérdidas mecánicas.

La altura hidráulica disponible en un salto es prácticamente fija, aunque el nivel en el azud pueda cambiar, estas turbinas resultan aplicables a casos en que la altura hidráulica total es grande. Por lo tanto, generalmente bastante mayor que aquella. De ello resulta una velocidad de inyección prácticamente constante y como el régimen de

giro de los alternadores es fijo, el diámetro de la turbina queda determinado, si se desea actuar en las proximidades del óptimo (salvo que se cambie el número de polos de la máquina eléctrica).

En estas condiciones la carga se regula con el grado de apertura, lo que ocasiona un cambio en m sin alterar substancialmente el parámetro de velocidad, actuando la máquina en condiciones de mayor rendimiento posible. Estas turbinas son valoradas especialmente por su cualidad de operar con elevados rendimientos a cargas parciales.

La necesidad de velocidades de giro moderadas de los generadores hace que estas turbinas en pequeños tamaños se puedan adaptar tanto a grandes como a pequeños saltos, cambiando simplemente su diámetro, pues no aparecen problemas estructurales por la fuerza centrífuga, aunque éste sea grande.

En grandes tamaños, la necesidad de velocidades moderadas de los alternadores hace que aparezca el problema de que el aumento correspondiente de tamaño de las cucharas puede ser tal que con un salto pequeño interfieran demasiado entre sí por resultar el diámetro exiguo. La solución radica en agregar inyectores, aunque para saltos lo suficientemente pequeños resulta más adecuado pasar a turbinas de reacción. Ello es debido a la capacidad limitada de potencia de las turbinas Pelton con saltos bajos en comparación con las otras, por su admisión parcial.

Las turbinas Pelton tienen la capacidad de operar con grandes alturas, lo que resulta dificultoso con turbinas Kaplan o Francis por la aparición de la cavitación. Típicamente se usan en aplicaciones medias y grandes con saltos hidráulicos a partir de 90 m. En aplicaciones pequeñas y muy pequeñas se emplean con saltos menores.

- Grado de Reacción de las Turbinas de Pelton

Según la teoría de las turbomáquinas, se puede relacionar la cupla en el eje de una turbina con el salto o altura rotórica (altura útil), arribando a la ecuación de Euler para turbomáquinas, de la cual una de sus formas es la siguiente:

$$g.H_r = \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2}$$

El primer término de esta ecuación representa la variación de energía cinética que se produce en el fluido entre la entrada y la salida de la máquina; el segundo término representa el cambio de presión debido a la variación de la fuerza centrífuga entre la entrada y la salida de la misma; el tercer término, finalmente, traduce el cambio de presión debido a la variación de la velocidad relativa del fluido entre la entrada y la salida. Por lo tanto, el primer término es energía cinética y los otros dos energía de presión, es decir:

$$g.H_r = g.(H_{din} + H_{est.})$$

El cambio energético está formado por un término que podemos llamar dinámico y un término representativo del trabajo de las fuerzas de presión, que denominaremos estático. El grado de reacción es la relación entre la energía estática que se transforma dentro del rotor y la energía total, o sea:

$$G_r = \frac{H_{est.}}{H_{tot.}}$$

En las turbinas de "acción" el grado de reacción es igual a cero, es decir que se puede demostrar que $p_1 = p_2$, o sea que el escurrimiento a través del rotor es a presión constante. En definitiva, en este caso, a la entrada y salida del rodete reina la presión atmosférica.

- Características Constructivas y Dimensionamiento

Las dimensiones de la rueda, así como la de las cucharas y del inyector, dependen fuertemente del diámetro del chorro que sirve como parámetro de diseño. La velocidad de entrada c es, de acuerdo al principio del rotor de impulso, muy aproximada a la velocidad de caída libre bajo el salto H :

$$c_1 = k_c \cdot \sqrt{2g \cdot H_n}$$

El diámetro del chorro resulta entonces:

$$d = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot c_1}$$

donde Q es el caudal por chorro. La velocidad u de rotación del círculo tangente al eje del chorro resulta algo menor que $1/2 c_1$. Se toma:

$$u = 0.43 a 0.47 \sqrt{2g \cdot H_n}$$

El valor $u = 0.43$, corresponde a las ruedas de número específico más bajo y $u = 0.47$ a las de número específico más elevado.

Los límites extremos de la relación d/D , se sitúan respectivamente entre $1/80$ y $1/6$ y en los dos casos el funcionamiento es defectuoso. En el primero, el agua recorre un camino relativamente muy largo antes de entrar en contacto con la cuchara y en el segundo el escurrimiento dentro de la cuchara es muy deficiente. Por relaciones de similitud se puede sacar que, aproximadamente:

$$n_s = 70 \cdot (d/D)$$

Para números específicos mayores de 10, se prefiere usar, o bien 2 o más inyectores por rueda o bien dos ruedas acopladas a un solo árbol y a un mismo generador.

La primera disposición se presta para montajes a eje horizontal o vertical. La segunda sólo se utiliza para montajes a eje horizontal.

En principio, el tipo de montaje de una o dos ruedas a eje horizontal con una sola tobera por rueda, debería ser el más eficiente, porque el agua puede llegar a la rueda en forma prácticamente rectilínea y no existe el problema de la evacuación del agua de la parte superior de las cucharas, que se presenta en los montajes a eje vertical. Sin embargo, son cada vez más comunes las Pelton de gran potencia con eje vertical y cuatro, cinco o seis inyectores. El cuidadoso estudio sobre modelos reducidos de cada caso particular, ha permitido obtener diseños de este tipo de elevado rendimiento.

Las dimensiones relativas y las características geométricas del inyector pueden darse como promedio estadístico de un gran número de construcciones. Para que la aguja pueda ser accionada, si el servomotor es exterior, es preciso que el vástago de accionamiento penetre en la tobera a través de un codo, con la consiguiente complicación hidráulica. Por ello, si la máquina es suficiente mente grande, se prefiere actualmente colocar el servomotor dentro mismo de la tubería, con lo que se consigue una entrada rectilínea.

En cuanto a las cucharas, antiguamente se las montaba abulonadas individualmente a una rueda central. Se suponía así facilitar el reemplazo de la o las cucharas que se averiaban. Ocurre, sin embargo, que las causas casi únicas de avería son las provenientes de la erosión, por la acción del material sólido que puede transportar el agua o por la cavitación, y por lo tanto la destrucción de las cucharas es siempre simultánea. Por ello se adopta actualmente el sistema de fundición de la rueda en una sola pieza con sus cucharas. Cuando el tamaño de la rueda hace difícil la fundición, se divide la pieza en varios sectores que luego se abulonnan a una llanta central

En el diseño del inyector deben procurarse dos objetivos:

a) el chorro debe ser "sólido", uniforme y libre de espuma superficial con cualquier grado de abertura del inyector.

b) el sistema de cambio de caudal debe poseer la sensibilidad necesaria para una buena regulación.

La forma y pulido adecuados de la tobera impiden la formación de remolinos y vórtices que originan la dispersión del chorro. Por ello se trata de mantener baja la velocidad de llegada. La convergencia suave de la tobera es favorable para evitar remolinos, pero en cambio, por la mayor longitud, aumenta la resistencia superficial. Por otra parte, una tobera suavemente convergente, permite a la aguja una carrera larga, conveniente para una buena regulación.

- Paso Máximo

La determinación del paso máximo se efectúa trazando las trayectorias relativas de tres puntos característicos de una misma sección transversal del chorro y éstos son: la partícula del filete superior, la que se encuentra en correspondencia con el eje del chorro, y la partícula del filete inferior. Para hallar esas trayectorias, el movimiento absoluto, que es una traslación en la dirección del chorro, se le debe restar el movimiento de arrastre que es una rotación alrededor del eje de la rueda. Comenzando por la partícula correspondiente al eje del chorro, y tomando como origen de los tiempos el instante en que dicha partícula pasa por el diámetro normal al eje del chorro. [6]

VI. ASOCIACIÓN DE MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DE BOACO. [7]

La Asociación de Municipios del Departamento de Boaco fue creada en el mes de Abril del año 2003, bajo acta constitutiva No. 27, su estructura se conforma con la Asamblea General y una Junta Directiva presidida por los Alcaldes Municipales de los municipios miembros, los cuales según estatutos se promueven de sus cargos cada dos años, y un órgano de apoyo como es la Secretaría Técnica que está conformada por los vice-alcaldes/as, secretarios/as de los concejos municipales y un concejal/a de la oposición de cada municipio, y la dirección ejecutiva que actualmente posee un personal compuesto por 5 miembros permanentes y 2 temporales, y se crean la comisiones necesarias para desarrollar el trabajo y órgano consultivo como es el consejo consultivo de la sociedad civil que está integrada por dos miembros de los consejo desarrollo municipal (CDM), de cada municipio.

La AMUB, es asociación municipalista sin fines de lucro con domicilio en el Municipio de Teustepe.

VISIÓN: Una asociación municipalista proactiva con estructuras físicas apropiadas, con conocimientos técnicos, políticos y científicos, con reconocimiento nacional e internacional en el liderazgo efectivo de fortalecimiento de capacidades locales, con un Plan Estratégico Institucional consensuado y concertado con la sociedad civil y actores locales del departamento de Boaco.

MISION: Somos una asociación municipalista, sin fines lucro, representativa, autónoma, pública y participativa, que fortalece las capacidades de los gobiernos locales, a través de la gestión de conocimientos y recursos, facilitando la implementación de normas y políticas locales y nacionales, fortaleciendo la autonomía municipal, promoviendo la cooperación nacional e internacional y el desarrollo integral de las seis municipios del departamento de Boaco, con el fin de reducir la pobreza, la vulnerabilidad ecológica, con equidad y transparencia.

OBJETIVOS:

- a) Fortalecer la Autonomía Municipal, a través del desarrollo integral y sostenible de los municipios del departamento de Boaco.

- b) Promover la cooperación en sinergia entre los municipios miembros.

- c) Representar a los municipios del departamento de Boaco en sus gestiones ante el gobierno nacional, organismos de desarrollo y todo tipo de instituciones

- d) Promover la adopción de normas locales comunes para resolver problemas transversales como la falta de protección del medio ambiente, la pobreza, entre otros.

- e) Mantener estrecha coordinación con las instituciones correspondientes para la prevención y mitigación de desastres.

- f) Integrarnos de manera beligerante en el CODEBO para fortalecerlo y mejorar su desempeño.

- g) Promover el turismo en el Departamento, cuyas bellezas naturales le confieren vocación turística.

- h) Promover hermanamientos, consorcios y mancomunidades municipales encaminadas a fortalecer el desarrollo de los municipios del departamento de Boaco.

- i) Ejecutar y celebrar todos los actos civiles y administrativos que sean necesarios o conducentes a los fines que se propone. En fin, actuar en forma amplia sobre asuntos que estén involucrados en el giro de las relaciones para los fines por los cuales se ha constituido la Asociación.

La Asociación de Municipios del Departamento de Boaco (AMUB), es una organización gremial a nivel departamental, que aglutina a los Gobiernos Municipales, y tiene por objetivos entre otros fortalecer la autonomía municipal; promover el

desarrollo integral y sostenible de los municipios del departamento de Boaco; y Promover la cooperación entre los municipios miembros. La asociación de municipios de Boaco fue constituida según certificación emitida por la oficina de registro de Asociaciones Municipales el veinticinco de julio del año 2003 y publicado en la Gaceta diario oficial, No 5, del 8 de enero del año 2004. Contexto Departamental

El Departamento de Boaco se sitúa en la parte central del país, limitando al norte con el Departamento de Matagalpa, al sur con el de Chontales y el lago de Nicaragua, al oeste con los de Managua y Granada y al este con la Región Atlántico Sur, RAAS. Tiene una superficie de 4,176.7 Km². Se localiza en un área estratégica para el país, cerca del eje de desarrollo Managua-Masaya-Granada, con salida al lago Cocibolca, y sirve de enlace entre las regiones del Pacífico y el Atlántico; se trata de un área de transición con características ambientales de ambas regiones.

El departamento se compone de seis municipios de características físicas muy Diferenciadas: Camoapa, lluvioso, deforestado, desestructurado y ganadero, San Lorenzo, seco, con salida al lago y desaprovechado, San José de los Remates y Santa Lucia, montañosos, frescos y cafetaleros, Teustepe árido, de transición, con un embalse de alto potencial, y Boaco cabecera departamental, deforestado y con un carácter central.

El departamento presenta una topografía ondulada y variada, existiendo depresiones como la que vierte al lago en San Lorenzo, áreas más o menos montañosas como las de Santa Lucia y San José de los Remates, valles como el del Matagalpa, Fonseca y Malacatoya, u Olama, embalses como el de las Canoas, mesetas bajas como El Tomatoya, y El cacao de los Chavarrias, entre otros. El clima se caracteriza por ser variado, seco y cálido en los llanos de Malacatoya y Teustepe, algo más fresco y húmedo hacia Santa Lucia, San José de los Remates y Boaco, alcanzando las precipitaciones más altas en Camoapa, cercano al límite departamental.

En cuanto a las aguas, la mitad oeste del departamento vierte al lago Nicaragua, que pertenece a la cuenca del río San Juan, y la mitad este a la cuenca del río Grande de Matagalpa. La vegetación potencial está representada por un bosque tropical que

varia desde el matorral seco en Teustepe hacia un tropical húmedo al norte de Camoapa; la quema de bosques, la agricultura, extracción de leña y madera, la ganadería y otras actividades han ido deforestando el territorio, y en la actualidad predominan grandes extensiones de pastizales y tacotales, exceptuando la vegetación de las áreas protegidas.

Desde el punto de vista de población, cuenta con 150,636 habitantes (fuente Instituto Nacional de Información de Desarrollo INIDE, censo de población y vivienda 2005) lo que supone el 3% de la población total de la República de Nicaragua. Son los municipios de Boaco y Camoapa los que concentran el 56% de la población del Departamento. Se trata de una población eminentemente rural: 68% de población rural frente al 42% de todo el País. Del total de la población del departamento de Boaco (estimaciones 2002), el 68% reside en el área rural frente al 42% del conjunto del País. Los municipios de Camoapa y Boaco son los que presentan mayores porcentajes urbanos con 41% y 40% respectivamente en el año 2002.

La densidad demográfica del departamento de Boaco es de 36.1 habitantes por km² en el año 2005, por debajo de la presentada a nivel nacional que se estima en 44 hab./km². Las mayores densidades corresponden al municipio de Santa Lucía con 68.3 habitantes por km² seguido del municipio de Boaco con una densidad demográfica de 45.9 hab./km².

El municipio que sobresale con la más baja densidad es Camoapa con 23.6 hab./km². Desde el punto de vista de clima podemos diferenciar cuatro zonas:

- Zona oriental: alta pluviométrica (superior a los 2200 mm/año) y una temperatura media anual de 25,5°C.
- Zona Centro-Norte: con una precipitación media anual de más de 1200 mm./año y una temperatura media de 23,9 °C.
- Zona Centro-Sur con precipitación media anual, ligeramente superior a los 1100 mm. y temperatura media 24,3 °C.
- Zona Centro y Centro-Oriental : Lluvia media anual próxima a 1000 mm. Y temperatura media anual de unos 24,6°C.

Desde el punto de vista geomorfológico la zona se ubica en un valle que conforma a su vez seis regiones estructurales diferenciadas: Macizo central de Boaco; la unidad varía desde los 400 msnm hasta los 1,000 msnm, con gran potencial forestal pero que en la actualidad está muy deforestado; en esta unidad se encuentran las reservas de Fila Masigue y el Cerro Mombachito. Macizo Noroccidental de San José de los Remates: es la zona más montañosa del departamento, con una altitud que varía desde los 450 msnm hasta más de 1,000 msnm; es una unidad de potencial forestal, y en la actualidad coexisten ciertas áreas boscosas con el cultivo de café bajo sombra, haciendo de la misma el área de mayor valor ecológico y paisajístico del departamento; en esta unidad se encuentra la Reserva Natural de Cerro Alegre, Cerro Cumaica.

Piedemonte del macizo central; es un área de transición entre los macizos de Boaco y San José de los Remates, con una altitud entre los 400 y 200 msnm, pendientes de suaves a moderadas, un potencial ganadero; el uso actual es la ganadería; y el paisaje está presidido por áreas llanas y grandes explotaciones de cultivo, con un aspecto verde en la época húmeda y marrón-ocre en la seca.

Tiene una gran importancia en esta unidad el embalse de las Canoas, y el lago Cocibolca. Llanuras onduladas de Camoapa; son fuertes y moderadas ondulaciones de terrenos lateríticos, con pendientes suaves y un potencial ganadero y forestal; en la actualidad constituye un mosaico de cultivos, pastos y masas forestales dispersas; es la zona de menor presión antrópica del departamento, y se encuentra aislada del resto. Valle del Fonseca-Malacatoya; en esta área se encuentran una serie de zonas homogéneas: Embalse, complejo fluvial, bosques latifoliados y arbustos caducifolios, y áreas mixtas de pastizales y granos básicos. Valle del Olama-Grande de Matagalpa; La pauta que se repite es un complejo fluvial, una serie de explotaciones ganaderas de gran tamaño, con una serie de árboles de gran tamaño y singulares (guanacaste, Ceiba etc.), y unas zonas más o menos provistas de vegetación arbórea y arbustiva. Valle de la Majada; predomina la actividad ganadera, conformando un paisaje de pastos sembrados y naturales con arbolado de distinta densidad, alterado puntualmente por ciertos cultivos agrícolas. Llanura aluvial de San Lorenzo; se ubica sobre una llanura sedimentaria de alto potencial agrícola (suelos fértiles, profundos, y

con posibilidades de riego: nivel freático superficial y cercanía al lago Cocibolca) que se encuentra subutilizada; el uso predominante es la ganadería extensiva de bajo rendimiento y los arrozales en la parte cercana al lago.

El suelo; escasa aptitud para la agricultura intensiva Utilizando la clasificación agrológica del Servicio Estadounidense de Agricultura (USDA), la cual se basa en una serie de parámetros geomorfológicos y de características del suelo como pendiente, pedregosidad, profundidad efectiva etc., se puede concluir que: 68% de la superficie total del departamento es de clase VI; se trata de suelos malos para la práctica de la agricultura, siendo pedregosos, con fuertes pendientes, poco profundos e infértiles. Las clases VII y V ocupan 5 y 6% respectivamente; estas áreas presentan grandes limitaciones para el desarrollo de la agricultura, siendo su uso vocacional los bosques de explotación o conservación. La clase agrológica IV viene representada con el 9 % del total, y se ubica en los límites de la llanura de San Lorenzo, y en determinados vallecitos de ríos de segundo orden que vierten sus aguas al Grande de Matagalpa La clases II y I que representan el 9 y 3 % del territorio son vocacionales para el desarrollo de la agricultura intensiva y extensiva, se localizan en la llanura aluvial de San Lorenzo, el valle del Malacatoya (Municipio de Teustepe), el valle del río Las Cañas y el vallecito del río Negro, estos tres últimos en el municipio de Boaco.

El departamento tiene un paisaje variado y potencialmente valioso, pero en la actualidad es de calidad media, presidido por una serie de pastizales sembrados y naturales (tacotales, guamiles, y pastos) donde existen ciertos intersticios de vegetación natural, predominando los bosques de caducifolias; más o menos enmascarados, en función de su extensión, volumen, materiales y colores.

Sumado a esto La calidad del paisaje se ve afectada por el creciente auge de la telefonía celular y negocios de Internet, que en todas las cabeceras municipales sin excepción afloran cantidad de antenas de diferentes alturas que restan visibilidad y atractivo al paisaje natural, sumando los numerosos carteles publicitarios comerciales y políticos, dando una imagen paisajística de degradación y deterioro, que hacen que el dosel vegetal quede enmascarado, provocando una cierta sensación de caos, pobreza, y pérdida del paisaje natural (discordancia de los colores, tonos y formas),

contribuyendo a la paulatina degradación paisajística que se ha venido produciendo en el devenir de los años. En el Departamento existen cuatro espacios naturales protegidos, todos bajo la figura de Reserva Natural, que no cuentan con ningún plan de gestión para su conservación y protección ambiental. Se trata de :Cerro Cumaica-Cerro Alegre; (5,000 Has) caracterizado por ser Bosque Tropical Húmedo y nebliselva; Fila Masigue (4,850 Has), predomina el Bosque Húmedo Tropical; y Cerro Mombachito-La Vieja, (940 Has) de Bosque Húmedo Tropical Premontano. De acuerdo con los datos del III Censo Agropecuario más del 3% de la superficie del departamento es de bosque.

La situación en el momento actual es la de un territorio deforestado que exige una acción enérgica de reforestación y que, en un periodo de tiempo a definir, de acuerdo a los programas establecidos y a las actuaciones de recuperación del bosque que se propongan, no debe ser sometido a ninguna extracción de madera ni a ninguna otra actuación que frene o limite el proceso de recuperación.

Dentro de esta limitada actividad económica de los bosques, los municipios de Boaco y de Camoapa, especialmente el primero son los que tienen una mayor incidencia en la extracción de madera para uso doméstico (reparaciones domésticas, pequeñas obras, etc., y comercial, correspondiendo a aquéllas un 60 % de la madera extraída y el resto a la venta a madereros y otros compradores con fines comerciales. En cuanto al empleo generado por esta actividad económica tan reducida las cifras facilitadas conducen a una estimación de jornales directos.

La actividad de los municipios del Departamento de Boaco es fundamentalmente agropecuaria y dentro de este sector, domina la actividad ganadera, esta actividad es realizada por la población rural a la que deben atribuirse en principio los resultados económicos directos de dicha actividad. Por su parte en las zonas agrícolas conviene distinguir entre las ubicadas sobre suelos con vocación adecuada para ello, que por sí mismas crean paisaje, y las que se ubican sobre suelos en pendiente, que solo se integran, por su color verde, en la estación húmeda.

En el departamento de Boaco existen dos grandes cuencas hidrográficas: La Cuenca hidrográfica del río Grande de Matagalpa y que vierte al Caribe, y La Cuenca de los ríos Malacatoya y Tecolostote que vierten al lago Cocibolca, que a su vez drena por el río San Juan, desembocando al Caribe. La implantación de cultivos en áreas de fuertes pendientes, la deforestación, las quemadas agropecuarias etc. han favorecido los procesos erosivos que han afectado a las cuencas del departamento de Boaco: menor producción de agua, y de baja calidad, pérdida de biodiversidad etc.; las subcuencas del río Malacatoya y Tecolostote son las que presentan mayor grado de deterioro.

La calidad de las aguas de los ríos del departamento es de media y baja calidad; la principal fuente de contaminación de los ríos, es el aporte de materia orgánica, en especial procedentes de residuos urbanos (vertido de las aguas domésticas a los cauces sin tratamiento previo) y de la actividad ganadera.

El problema se ve acrecentado en los meses de la estación seca, donde la escasez de agua hace que la capacidad de auto depuración de los ríos se reduzca. El Departamento cuenta con alto potencial de recursos hídricos superficiales, es atravesado por una gran cantidad de ríos entre los que destaca el Olama, Negro, Fonseca, Malacatoya y el Río Grande de Matagalapa, además de contar con las aguas del Lago Cocibolca y el Embalse de las Canoas, una de las cuatro presas existentes en el país.

Dicho embalse se encuentra dentro del municipio de Teustepe, retiene las aguas del río Malacatoya entre Las Banderas y Teustepe. Tiene una longitud aproximada de 10 Km y 2 Km de ancho. Fue construida con el fin de utilizar sus aguas para riego de cañaverales y para la producción de energía eléctrica, posee turbinas con capacidad de producir 3.42 GWh (0.17 % de la producción nacional).

Pero actualmente no se está explotando este recurso para ninguno de los dos propósitos principales para lo que fue diseñado originalmente. El embalse Las Canoas, además es utilizado para la pesca aunque carece de otro tipo de uso

recreativo o turístico salvo ocasionalmente en la época seca. Tampoco es usado para el abastecimiento de agua potable de la población.

En cuanto a los recursos subterráneos, las características geológicas de la zona no permiten el almacenamiento de agua lo que se impide una explotación planificada de este tipo de recurso. El uso de estos acuíferos se limita a una extracción mediante pozos excavados. La profundidad del nivel freático es muy elevada, lo que convierte la explotación mediante pozos en un sistema antieconómico y costoso. En general en el departamento se recurre a fuentes superficiales de abastecimiento. [7]

VII. DISEÑO DE PLANTA MICRO HIDROELÉCTRICA

EL diseño de la micro hidroeléctrica, será para la Comarca Las Lajas. La cuál está ubicada en el Municipio de Camoapa, Municipio de Boaco.

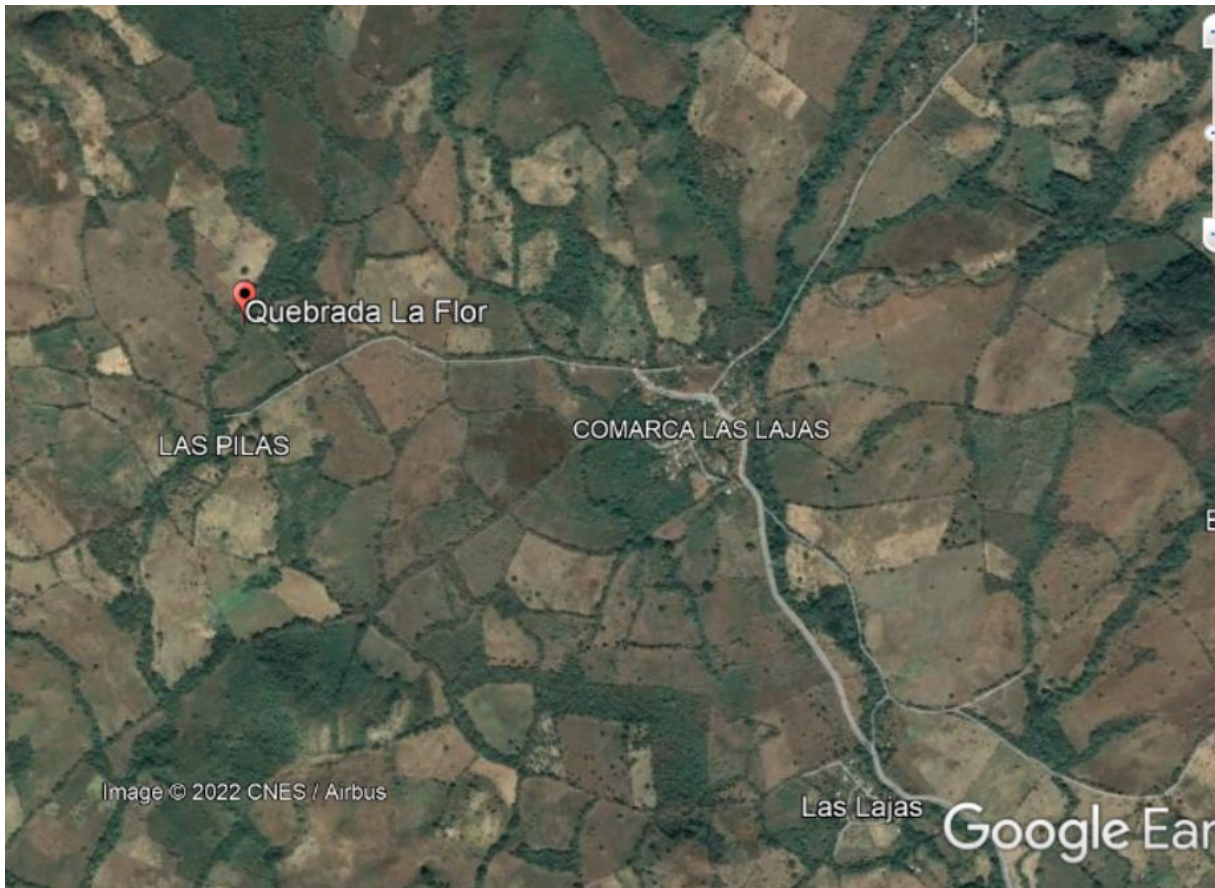


Figura 3. Vista aérea Comarca Las Lajas. Utilizando Google Earth.

Se realizó el estudio en la comarca Las Lajas, habiéndose encontrado un total de 27 viviendas, para el diseño de la Micro Hidroeléctrica se consideró un promedio de consumo de 150kw mensual por casa de habitación.

- **Topografía.**

En la Quebrada la Flor Se deberá de considerar dos puntos donde se deriva el agua. También se necesitó definir el punto que desaguará o punto de entrega.

En la siguiente tabla se muestran los puntos de derivación:

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de derivación.

PUNTO	Latitud	Longitud	asnm	Ancho
I	12°19'10.68" N	85°44'21.74" W	324mts	3.10mts
II	12°19'11.21" N	85°44'21.57" W	324mts	3.15mts

Para hacer una estimación de la cantidad de agua que contiene la quebrada La Flor, se tomaron puntos transversales cada 100cm (1m) y a cada 25cm (1/4m) de profundidad por cada sección que se realizó.

Toda la información que se obtenga, será de mucha utilidad para determinar el caudal de la quebrada mediante los siguientes modelos matemáticos: [8]

$$Q_{Total} = \sum Q_{Cada\ tramo}$$

$$Q_{Cada\ tramo} = V * A$$

Dónde:

$$Q_{Total} = \text{Caudal total } (m^3/s)$$

$$Q_{Cada\ tramo} = \text{Caudal de cada tramo } (m^3/s)$$

$$V = \text{Velocidad } (m/s)$$

$$A = \text{Área } (m^2)$$

- Recursos Hídricos

Para mostrar la información de la velocidad de los tramos, se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 2. Punto de derivación I. Tramo A.

Punto I. Tramo A	Profundidad	Velocidad
1m	25cm	1.9m/s
	50cm	1.8m/s

Tabla 3. Punto de derivación I. Tramo B

Punto I. Tramo B	Profundidad	Velocidad
2m	25cm	2.1m/s
	50cm	2m/s

Tabla 4. Punto de derivación I. Tramo C

Punto I. Tramo C	Profundidad	Velocidad
3m	25cm	1.8m/s
	50cm	1.6m/s

Tabla 5. Punto de derivación II. Tramo A.

Punto II. Tramo A	Profundidad	Velocidad
1m	25cm	1.8m/s
	50cm	1.6m/s

Tabla 6. Punto de derivación II. Tramo B.

Punto II. Tramo B	Profundidad	Velocidad
2m	25cm	1.9m/s
	50cm	1.8m/s

Tabla 7. Punto de derivación II. Tramo C.

Punto II. Tramo C	Profundidad	Velocidad
3m	25cm	1.7m/s
	50cm	1.7m/s

Para el punto de derivación I. se consideró el promedio de las velocidades en cada tramo. Por tanto, tenemos que para el tramo A del punto I es:

$$V_{Tramo A} = \frac{1.9 \text{ m/s} + 1.8 \text{ m/s}}{2} = 1.85 \text{ m/s}$$

$$\text{Área}_{Tramo A} = \frac{1\text{m} * \frac{1}{2}\text{m}}{2} = 0.25\text{m}^2$$

$$Q_{Tramo A} = 1.85 \text{ m/s} * 0.25\text{m}^2 = 0.4625 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ahora, para el tramo B del punto I, tenemos:

$$V_{Tramo B} = \frac{2.1 \text{ m/s} + 2 \text{ m/s}}{2} = 2.05 \text{ m/s}$$

$$\text{Área}_{Tramo B} = \frac{1\text{m} * \frac{1}{2}\text{m}}{2} = 0.25\text{m}^2$$

$$Q_{Tramo B} = 2.05 \text{ m/s} * 0.25\text{m}^2 = 0.5125 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para el Tramo C, del Punto I, tenemos:

$$V_{Tramo C} = \frac{1.8 \text{ m/s} + 1.6 \text{ m/s}}{2} = 1.7 \text{ m/s}$$

$$\text{Área}_{Tramo c} = \frac{1\text{m} * \frac{1}{2} \text{ m}}{2} = 0.25\text{m}^2$$

$$Q_{Tramo C} = 1.7 \text{ m/s} * 0.25\text{m}^2 = 0.425 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ahora, para el punto de derivación II. Se consideró el promedio de las velocidades en cada tramo. Por tanto, tenemos que para el tramo A del punto II es:

$$V_{Tramo A} = \frac{1.8 \text{ m/s} + 1.6 \text{ m/s}}{2} = 1.7 \text{ m/s}$$

$$\text{Área}_{Tramo A} = \frac{1\text{m} * \frac{1}{2} \text{ m}}{2} = 0.25\text{m}^2$$

$$Q_{Tramo A} = 1.7 \text{ m/s} * 0.25\text{m}^2 = 0.425 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para el tramo B, del punto II, se tiene lo siguiente:

$$V_{Tramo B} = \frac{1.9 \text{ m/s} + 1.8 \text{ m/s}}{2} = 1.85 \text{ m/s}$$

$$\text{Área}_{Tramo B} = \frac{1\text{m} * \frac{1}{2} \text{ m}}{2} = 0.25\text{m}^2$$

$$Q_{\text{Tramo B}} = 1.85 \text{ m/s} * 0.25\text{m}^2 = 0.4625 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para el Tramo C, del punto II, se tienen los siguientes datos:

$$V_{\text{Tramo C}} = \frac{1.7 \text{ m/s} + 1.7 \text{ m/s}}{2} = 1.7 \text{ m/s}$$

$$\text{Área}_{\text{Tramo C}} = \frac{1\text{m} * \frac{1}{2}\text{m}}{2} = 0.25\text{m}^2$$

$$Q_{\text{Tramo C}} = 1.7 \text{ m/s} * 0.25\text{m}^2 = 0.425 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por tanto, para resumir los datos encontrados, se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 8. Resultados para el punto de derivación I.

Punto I	Velocidad	Área	Caudal del Tramo
Tramo A	1.85 m/s	0.25m ²	0.4625 m ³ /s
Tramo B	2.05 m/s	0.25m ²	0.4625 m ³ /s
Tramo C	1.7 m/s	0.25m ²	0.425 m ³ /s

Tabla 9. Resultados para el punto de derivación II.

Punto I	Velocidad	Área	Caudal del Tramo
Tramo A	1.7 m/s	0.25 m^2	$0.425 \text{ m}^3/\text{s}$
Tramo B	1.85 m/s	0.25 m^2	$0.4625 \text{ m}^3/\text{s}$
Tramo C	1.7 m/s	0.25 m^2	$0.425 \text{ m}^3/\text{s}$

Por tanto, tenemos que la velocidad de caudal total para el punto de derivación I es:

$$Q_{Total} = \sum Q_{Cada\ tramo} = 1.35 \text{ m/s}^3$$

Y para el punto de derivación II es:

$$Q_{Total} = \sum Q_{Cada\ tramo} = 1.3125 \text{ m/s}^3$$

$$Q_{Total\ promedio} = \frac{1}{2}(1.35 \text{ m/s}^3 + 1.3125 \text{ m/s}^3)$$

$$Q_{Total\ promedio} = 1.33125 \text{ m/s}^3$$

- **Dimensiones del canal**

Las dimensiones del canal se pueden obtener a partir de la aplicación de la siguiente fórmula:

$$Q = V * A$$

$$A = \textit{Profundidad} * \textit{Promedio del ancho de la quebrada}$$

Dónde,

$$Q : \textit{Caudal} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$V : \textit{Velocidad del agua en el canal} \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$A = \textit{Sección transversal del canal} \left(m^2 \right)$$

También,

$$A = \textit{Profundidad} * \textit{Promedio del ancho de la quebrada}$$

Dónde,

$$\textit{Profundidad} = \frac{1}{2} m$$

$$\textit{Promedio del ancho de la quebrada} = \frac{\textit{Punto I} + \textit{Punto II}}{2}$$

$$\textit{Promedio del ancho de la quebrada} = \frac{3.1m + 3.15m}{2}$$

$$\textit{Promedio del ancho de la quebrada} = 3.125m$$

Por tanto,

$$A = \frac{1}{2}m * 3.125m = 1.5625m^2$$

Entonces,

$$Q = 1.33125 \frac{m}{s} * 1.5625m^2$$

$$Q = 2.080078125 \frac{m^3}{s}$$

Considerando las dimensiones del canal a implementarse, se tiene si la altura del es de 1.2m, entonces

$$\mathbf{\acute{A}rea}_{canal} = \mathbf{Base}_{canal} * \mathbf{Altura}_{canal}$$

Por tanto,

$$1.5625m^2 = \mathbf{Base}_{canal} * 1.2m$$

Despejando,

$$\mathbf{Base}_{canal} = \frac{1.5625m^2}{1.2m}$$

Tendremos,

$$\mathbf{Base}_{canal} = 1.3020833333m$$

$$\mathbf{Base}_{canal} \approx 1.30m$$

- Resistencia del canal

Para las paredes del canal de derivación se recomienda que sean diseñadas en hormigón, para ello se calcula el espesor mínimo de las paredes que soporte la presión que se genera sobre ellas. La presión que se genera en el canal por el paso del agua o retención de esta, determina el espesor de las paredes, presión que se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P_c = P_A + (p * g * h)$$

Dónde,

$$P_c: \text{Presión del fondo del canal } \left(\frac{N}{m^2}\right)$$

$P_A = \text{Presión atmosférica } \left(\frac{N}{m^2}\right)$. Para el Departamento de Boaco en Nicaragua, tenemos que es de 1009hPa

Para cambiar las unidades de medidas de hpa a $\frac{N}{m^2}$

Calculador de unidades

Categoría de unidades de medida:

Valor a convertir:

Unidad inicial:

Unidad de objetivo:

Números en una notación científica

1 009 Hectopascal [hPa]

= **1,009** × 10⁵ N/m²

Entonces,

$$P_A = 1.009 * 10^5 \text{ N/m}^2$$

La densidad del agua está en dependencia de la temperatura de 29°C. Entonces, se tiene:

$$\rho: \text{Densidad del agua} = 996.02 \text{ kg/m}^3$$

$$g : \text{gravedad} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

h: altura del nivel de agua

Por tanto;

$$P_c = 1.009 * 10^5 \text{ N/m}^2 + (996.02 \text{ kg/m}^3 * 9.8 \text{ m/s}^2 * 1.2 \text{ m})$$

$$P_c = 1.12 \text{ kg/cm}^2$$

Es importante comparar la presión del canal, con respecto a la resistencia del material, en este caso el hormigón.

$$\text{Resistencia del Hormigón} > \text{Presión en el Canal}$$

Tenemos,

$$105 \text{ kg/cm}^2 > 1.12 \text{ kg/cm}^2$$

Como se puede ver, cumple con la restricción. Por ende, las paredes soportarán la presión del canal.

Para determinar el espesor mínimo, se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$e = 0.10 * h$$

Dónde,

e: Espesor mínimo del canal (m)

h = altura del canal (m)

Entonces,

$$e = 0.10 * 1.2m$$

$$e = 0.12m$$

El espesor de las paredes del canal mínimo deberá ser de 0.12m.

- Dimensiones del canal de salida

$$A = 2.8m * 0.4m$$

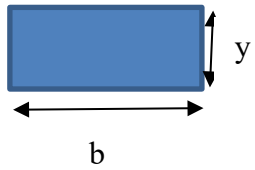
$$A = 1.12m^2$$

- Sistema de Conducción

La quebrada La Flor se encuentra en la parte alta de la comarca Las Lajas, del departamento de Boaco.

En la siguiente tabla se describirá el tipo de sección que se utilizará para el diseño de canal que se está proponiendo en este proyecto monográfico.

Tabla. 10. Geometría del tipo de sección del canal que se utilizará en el diseño

Tipo de sección	Área Hidráulica	Perímetro Mojado	Radio Hidráulico	Espejo de Agua
Rectangular 	$b * y$	$b + 2y$	$\frac{b * y}{b + 2y}$	b

El tipo de sección que se utilizará es rectangular, debido a las características de funcionalidad y el tipo de terreno que se tiene. La principal característica de este tipo de canales es que son eficientes hidráulicamente y poseen una estabilidad del material, lo que quiere decir que el desprendimiento de este es mínimo.

- **Grado de inclinación**

Utilizando la ecuación de Manning, tendremos lo siguiente:

$$m_c = \left(\frac{n * V}{R^{2/3}} \right)^2$$

Donde,

m_c : *Pendiente del canal*

n : *Rugosidad del material del canal*

V : *Velocidad del agua en el canal*

R = *Radio hidráulico*

La pendiente se calcula a partir del cociente de la altura con respecto a la longitud, la altura es la diferencia con respecto al punto de derivación y el punto donde estará el desarenador.

$$m_c = \frac{h_2 - h_1}{L}$$

$$m_c = \frac{324m - 320m}{7m}$$

$$m_c = 0.57$$

Al ser un tipo de suelo arcilloso, tenemos que el coeficiente de rugosidad es:

$$n = 0.013$$

La velocidad mínima recomendada es de $\frac{1.6m}{s}$

Se puede calcular el Radio Hidráulico, de la siguiente manera

$$R = \left(\frac{n * V}{\frac{1}{m^2}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$R = \left(\frac{0.013 * 1.6 \frac{m}{s}}{0.57^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$R = 0.27m$$

El Radio Hidráulico se define como:

$$R = \frac{A}{P_e}$$

Donde,

R: Radio Hidráulico

A = Sección del canal transversal

P_e = Perimetro mojado

Entonces,

$$P_e = \frac{A}{R}$$

$$P_e = \frac{1.12m^2}{0.27m}$$

$$P_e = 4.15m$$

- Tubería de Presión

Para el diseño, se deberá de considerar una distancia del tramo de 112mts, para ello se utilizará tubería PVC SDR-41 de 8" de diámetro, desde el punto de derivación hasta el punto final.

- Cuarto de Máquinas

Dentro del cuarto de máquinas estará instalado el equipo generador (electromecánico), dicho equipo estará conformado por: Turbina tipo Pelton, generador y un sistema que controle la carga.

Según la información que brinda el Instituto Nacional de Información de Desarrollo [6], hay una población de 174 personas en la Comarca Las Lajas. Y cuenta con 27 viviendas. Según el censo de carga se deberá de hacer el diseño para que la Micro Hidroeléctrica produzca 50kw/h.

- Ficha técnica del sistema de generación con la turbina Pelton.

Tabla 11. Descripción generación del sistema de generación

Descripción General	
Lugar de origen	Sichuan, China.
Número de modelo	CJP805-W-55/1*6
Potencia nominal	50kw
Tipo de generador	Excitación sin escobillas
Certificado	ISO9001/CE/TUV
Velocidad nominal	750r/min
Marca	Forster Hydro Power
Eficiencia	89.5%
Gobernador	CJT-100



Figura 4. Vista de Perfil Micro Turbina Pelton



Figura 5. Micro Turbina Pelton



Figura 6. Panel de Control

VIII. COSTOS DEL PROYECTO

Tabla 12. Costos del Proyecto.

Concepto	Costos (U\$)
Terreno 6mx5m	U\$2,000
Construcción del cuarto de máquina	U\$ 4,000
Tubería	U\$2,800
Generador turbina Pelton	U\$28,500
Red eléctrica	U\$ 11,200
Construcción de captación	U\$4,400
Total	U\$52,900

IX. CONCLUSIONES

Se puede concluir con esta propuesta de diseño, partiendo de la importancia que tiene la energía renovable para un país que cuenta con muchos recursos naturales, los cuáles pueden ser utilizados para la generación de energía que contribuya con el desarrollo social y económico del país.

También, el impacto ambiental es mínimo, reduciendo significativamente los niveles de contaminación en el aire, lo cual tiene un impacto positivo en lo que respecta a la población.

Este tipo de propuesta contribuye, con el desarrollo de las personas que habitan en zonas rurales donde hay poco acceso de energía eléctrica.

Se hizo un estudio demográfico de la zona, considerando que en la Comarca Las Lajas hay 27 viviendas, que podrían ser beneficiadas con este tipo de alternativa de generación de energía limpia.

Se evaluaron aspectos de carácter técnico en la quebrada La Flor, donde se realizaron estudios ingenieriles de diseño para una posible implementación de un sistema de generación hidro eléctrica, con capacidad de 50kw.

Se determinó el equipo que se requeriría para satisfacer la demanda en esa zona. Además del costo que conllevaría una puesta en marcha del proyecto.

Esta propuesta de diseño, también genera valor académico para aquellos estudiantes que deseen trabajar en proyectos de energía renovable, particularmente en el diseño de micro hidroeléctricas.

X. RECOMENDACIONES

Se recomienda a los futuros egresados de la carrera de ingeniería eléctrica y electrónica considerar este tipo de línea de investigación, donde se genera energía limpia para suplir la necesidad de aquellas personas que no cuenten con este importante servicio, que es de mucha utilidad para el desarrollo económico social.

Además, se recomienda hacer estudios de carácter financieros para determinar la rentabilidad, ya que en este estudio monográfico no se consideró. Por ello, será de utilidad para otros trabajos de culminación de estudios el cálculo de la tasa interna de retorno, tasa mínima aceptable de retorno, valor presente neto, flujos de efectivos, etc; con el fin de dimensionar en cuanto tiempo se podrá recuperar la inversión en este tipo de proyectos, que son de gran importante para apuntalar a una cobertura total del servicio de energía eléctrica. -

XI. BIBLIOGRAFÍA

[1] Hurtado Javier, Pilarte Bosco. “Formulación y Evaluación de una Pequeña Central Hidroeléctrica de 600KW en el Rio Tuma”. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua. 2016.

[2] Martínez Alejandro, Escobar Belén. “Plantas Hidroeléctricas Estatales. Su Aporte al Desarrollo del País”. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua. 2013.

[3] Manuales de energía hidroeléctrica. Disponible en:

https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_2.1.7_Minicentrales_hidroelectricas_125f6cd9.pdf

[4] Tecnología Mini Hidroeléctrica. Disponible en:

<https://4echile-datastore.s3.eu-central-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2020/11/21144136/Ficha-T%C3%A9cnica-Tecnolog%C3%ADa-Mini-Hidroel%C3%A9ctrica.pdf>

[5] Criollo Xavier; Quezada Cristian. “Diseño de una Mini Central de Energía Hidroeléctrica en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Cuenca. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. 2011.

[6] Marchegiani Ariel. “Turbinas Pelon”. Universidad Nacional de Comahue. Facultad de Ingeniería. Departamento de Mecánica Aplicada. Laboratorio de Máquinas Hidráulicas. Septiembre, 2004.

[6] “Camoapa en Cifras”. Instituto Nacional de Información de Desarrollo. 2008.

[7] “Generación de Energía Hidroeléctrica para usos ambientales, sociales y productivos en cuatro comunidades del Departamento de Boaco, Nicaragua”. Alianza en Energía y Ambiente con Centroamérica. Boaco, Nicaragua. Mayo, 2010.

[8] Trujillo Angie. “Diseño de una Pico Central Hidroeléctrica en la Localidad de Usme, Bogotá”. 2017. Bogotá Colombia.