



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE ELECTRICA**

**Tesis Monográfica para optar al Título de
Ingeniero Eléctrico**

Título

**“Estudio de perfil de una pequeña central hidroeléctrica en la zona del rio
Rama”.**

Autores:

- **Br. Idrly Geovany Flores Jiménez 2011-37368 EI**
- **Br. Carlos Eduardo Rodríguez Amador 2007-22301 Eo**

Tutor:

Ing. Sandro Chavarría

Managua, diciembre 2021

Dedicatoria

A Dios nuestro padre celestial por estar siempre con nosotros brindándonos la sabiduría y fortaleza necesaria para poder llevar a cabo esta tesis monográfica.

A nuestros padres que siempre nos han dado su apoyo incondicional y han sido nuestra guía y consejeros en el camino de la vida.

Agradecimiento

"A Dios primeramente por permitirnos la elaboración de este trabajo monográfico y haberme dado salud y darme lo necesario para seguir adelante día a día para lograr mis objetivos. A mis padres Noel Flores y Carmen Jiménez que han dado todo el esfuerzo para que yo ahora este culminando esta etapa de mi vida y darles las gracias por apoyarme en todos los momentos de mi vida. A todas aquellas personas que de una u otra manera nos han abierto sus puertas, brindado sus conocimientos, apoyo y respaldo. Gracias por ser amigos, hermanos, familia. Gracias por todo. (Suyen Peralta, Lic. Arelyz Peña y Dr. Douglas Espinoza) " **Br. Idrly Geovany Flores Jiménez**

"A Dios primeramente por darme las fuerzas necesarias durante todo el trayecto de mi vida, por darme esperanzas sobre todo para lograr cumplir mis sueños y metas que me he puesto y también aquellas personas que directa e indirectamente me guiaron y ayudaron cuando les solicite de sus apoyos para realizar esta tesis. A mi familia y a todos mis hijos y todos mis seres queridos" **Br. Carlos Eduardo Rodriguez Amador.**

Resumen

Nicaragua es uno de los países de la región centroamericana que ha desarrollado buenas experiencias en la producción de energía renovable. Según el sitio web del Programas Energías Renovables y Eficiencia Energética en Centroamérica (Energías4E), Nicaragua proyecta un importante repunte en sus ventas regionales de energía mediante el aprovechamiento de sus fuentes renovables como la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, biomasa y solar. Nicaragua transfiere entre 150 y 160 megavatios a países de la región a través del aprovechamiento de la Plataforma del Sistema de Integración Centroamericana (SIEPAC). Según Enatrel el país mantiene altos niveles de generación renovable y en los últimos dos años ha exportado el excedente de este a países de la región como El Salvador, Honduras, Costa Rica y Panamá.

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.

Abstract

Nicaragua is one of the countries in the Central American region that has developed good experiences in the production of renewable energy. According to the website of the Renewable Energy and Energy Efficiency Programs in Central America (Energías4E), Nicaragua projects a significant rebound in its regional energy sales by taking advantage of its renewable sources such as wind, geothermal, hydroelectric, biomass and solar. Nicaragua transfers between 150 and 160 megawatts to countries in the region through the use of the Central American Integration System Platform (SIEPAC). According to Enatrel, the country maintains high levels of renewable generation and in the last two years has exported the surplus of this to countries in the region such as El Salvador, Honduras, Costa Rica and Panamá.

The generation of electricity in isolated areas outside the SIN is an activity that in Nicaragua is being consolidated through the implementation of the National Plan for Investments in Renewable Energies implemented by the Government of Unity and National Reconciliation through the National Electric Transmission Company ENATREL, which guides and facilitates the sustainable development of the energy sector, to contribute to national development in a framework of social equity, economic growth and preservation of the environment.

Lista de abreviaciones

PCH	<i>Pequeña Central Hidroeléctrica</i>
SIN	<i>Sistema Interconectado Nacional.</i>
ENATREL	<i>Empresa Nacional de Transmisión Eléctrica</i>
SIEPAC	<i>Sistema de Interconexión Eléctrica para América Central</i>
CO2	<i>Dióxido de Carbono</i>
CER's	<i>Certificados de Reducción de Emisiones</i>
VAN	<i>Valor Actual Neto</i>
TIR	<i>Tasa Interna de Retorno</i>
B/C	<i>Relación Costo Beneficio</i>
kW	<i>kilovatios</i>
kWh	<i>kilovatios-hora</i>
MWh	<i>megavatios-hora</i>
GWh	<i>kilovatios-hora</i>
MW	<i>megavatios</i>
W	<i>vatios</i>
V	<i>voltios</i>
A	<i>amperios</i>
OLADE	<i>La Organización Latinoamericana de energía</i>
Rpm	<i>La velocidad rotacional sincrónica</i>
ENEL	<i>Empresa Nicaragüense de Energía Eléctrica</i>
DC	<i>Corriente continua</i>
AC	<i>Corriente alterna</i>
MEM	<i>Ministerio de Energía y Minas</i>

Lista de tablas

Tabla 1: Clasificación de PCH según potencia instalada	8
Tabla 2: Dato Hidrología (Caudal)	18
Tabla 3: Dato Hidrología(crecidas).....	18
Tabla 4: Dato Hidrología(salto)	18
Tabla 5: Demanda local por sectores	38
Tabla 6: Inversión total	43
Tabla 7: Informa para calculo de beneficios	44
Tabla 8: Análisis de indicadores financieros del proyecto	47

Lista de figuras

Figura 1: Generación de energía eléctrica en Nicaragua	2
Figura 2: Pequeña Central Hidroeléctrica	7
Figura 3: Los elementos principales que componen una PCH.....	10
Figura 4: Ciclo de vida del Proyecto	13
Figura 5: Ciclo de vida del Proyecto	13
Figura 6: Ubicación del proyecto de la pequeña central Hidroeléctrica	17
Figura 7: Caudal M ³ /s versus porcentaje de duración del salto.....	19
Figura 8: Generadores asincrónicos.....	31
Figura 9: Demanda máxima en el primer año	36
Figura 10: Demanda máxima en el año 25.	37
Figura 11: Demanda de Potencia (KW)	39
Figura 12: Tarifas Energética.....	43
Figura 13: Variables de tarifas	44
Figura 14: Variables y indicadores financieros	46

Contenido

Dedicatoria	2
Agradecimiento.....	2
Resumen.....	3
Abstract.....	4
Lista de abreviaciones.....	5
Lista de tablas.....	6
Lista de figuras	6
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.2 Antecedente.....	2
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos del Estudio	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivo Específico.....	4
Capítulo 2. Marco teórico	5
2.1 Generalidades de las centrales hidroeléctricas	5
2.2 Central hidroeléctrica.....	6
2.3 Pequeñas centrales hidroeléctricas	9
2.4 Elementos que componen una PCH en derivación:.....	10
2.4.1 Obras Civiles:.....	10
2.4.2 Estructuras hidráulicas	11
2.4.3 Equipo electromecánico.....	11
Capítulo 3. Proyecto y ciclo de vida de un proyecto	12
3.1 Preparación del proyecto.....	12
3.2 Proceso de planificación	15
3.3 Proceso de desarrollo PCH.....	15
Capítulo 4. Estudio Técnico.....	16
4.1 Descripción del Proyecto.....	17
4.1.1 Topografía	17
4.1.2 Hidrología	18

4.4.3 Medición de caudal.....	19
4.1.4 Secciones de control de aforo.....	20
4.2 Propuesta de Proyección de Equipos.....	22
4.3 Potencia y Energía Eléctrica	33
Capítulo 5. Estimación de la Demanda	34
5.1 Estudio financiero	39
5.2 Análisis Financiero.....	40
5.3 Indicadores.....	40
5.4 Datos Financieros del Proyecto.....	41
Capítulo 6. Resultados del estudio.....	41
6.1 La hidrología y los proyectos hidroeléctricos.....	41
Capítulo 7. Inversión y Financiamiento.....	42
6.1 Monto de Inversión.....	42
6.2 Resultados financieros	44
Conclusiones	48
Bibliografía	49

Capítulo 1. Introducción

Nicaragua es el país de América Central que posee la generación de electricidad más baja, pero con un porcentaje de población del 98.50 % de índice de electrificación con o acceso a la electricidad alcanzado en el 2020 (ENATREL). El proceso de desagregación y privatización de la década de los 90 no alcanzó los objetivos esperados, lo que resultó en muy poca capacidad de generación agregada al sistema. Esto, junto a su gran dependencia del petróleo para la generación de electricidad (la más alta de la región), provocó una crisis energética en 2006 de la cual el país ya se ha recuperado por completo, gracias a nueva inversión.

El sistema de electricidad abarca el Sistema Interconectado Nacional (SIN), que cubre más del 98% del territorio donde vive la población del país (las zonas del Pacífico, del centro y del norte completas). Las restantes regiones están cubiertas por sistemas de generación aislados. El proyecto SIEPAC (Sistema de Interconexión Eléctrica para América Central) integrará la red eléctrica del país con el resto de los países de América Central y se espera que mejore la confiabilidad en el abastecimiento y reduzca los costos.

La generación de electricidad en áreas aisladas es una actividad que en Nicaragua se está consolidando por medio de la implementación del Plan Nacional de Inversiones en Energías Renovables y la Política General del Subsector Eléctrico, 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.

La propuesta de este estudio es presentar una visión general de las pequeñas centrales hidroeléctricas, de forma que el público obtenga un conocimiento de sus principales características, componentes básicos, funcionamiento y análisis de evaluación financiera.

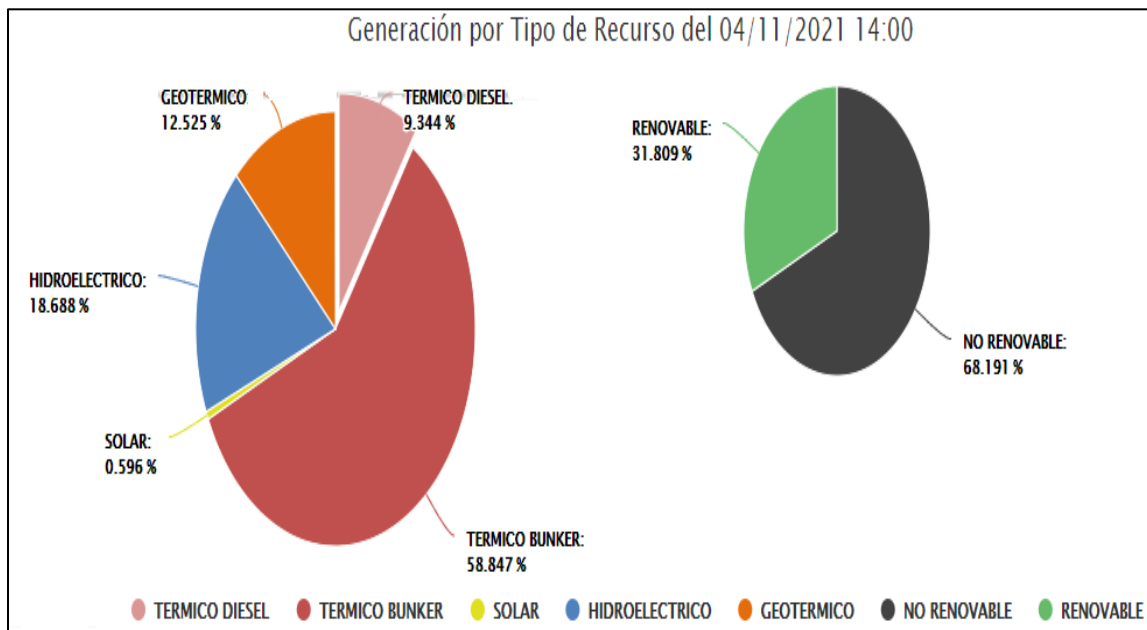
1.2 Antecedente

En la actualidad, las plantas de energía hidroeléctrica aportan sólo el 11.86% (Matriz de generación 2021 ENATREL) de la electricidad producida en Nicaragua. La compañía pública Hidrogena posee y opera dos plantas existentes (Centroamérica y Santa Bárbara). Como respuesta a la reciente (y todavía sin resolver) crisis energética vinculada con la dependencia excesiva de los productos del petróleo por parte de Nicaragua para la producción de electricidad, hay planes para la construcción de nuevas plantas hidroeléctricas.

En nicaragua en la Facultad de Electrotecnia y Computación luego de revisar en el repositorio de tesis se encontró el siguiente trabajo monográfico: **“Formulación y evaluación de una pequeña central hidroeléctrica de 600kw en el rio Tuma”**
AUTOR: Br. Javier Orlando Hurtado Sampson 2005-20282 y Br. Bosco Javier Pilarte Barahona 2010-32796

Figura 1: Generación de energía eléctrica en Nicaragua

Fuente: Enatrel



1.3 Justificación

La zona de aprovechamiento la constituye la prolongación del Río Rama, recurso natural renovable que será utilizado para la generación limpia de electricidad cuyos costos de producción son altamente competitivos y ambientalmente sustentables.

Al comparar los beneficios de producir un GWh con combustibles fósiles versus el aprovechamiento del recurso natural renovable agua, se evita el consumo de 67 mil galones de combustibles fósiles, lo que representa un ahorro de divisas y una emisión evitada de aproximadamente 270 toneladas de Dióxido de Carbono (CO₂).

En otro orden de enfoques y para efectos ilustrativos, si por cada GWh al año generado en una planta térmica convencional se liberan 270 toneladas métricas de dióxido de carbono –CO₂- a la atmósfera, una PCH evitaría la emisión de esas 270 toneladas y produciría anualmente un beneficio neto de mitigación de gases de efecto invernadero del orden de 270 toneladas métricas equivalentes de CO₂.

Resulta entonces atractivo generar electricidad a partir del recurso natural renovable agua, ya que con la venta de los Certificados de Reducción de Emisiones –CER's- en los mercados internacionales de carbono se aportaría un financiamiento adicional al proyecto, maximizando los beneficios que resulten de la producción hidroeléctrica.

1.4 Objetivos del Estudio

1.4.1 Objetivo General

- Realizar un estudio de perfil de una pequeña central hidroeléctrica como alternativa energética para la zona del río Rama.

1.4.2 Objetivo Específico

- Describir los principales componentes de una pequeña central hidroeléctrica
- Presentar una visión general de las pequeñas centrales hidroeléctricas, de forma que el participante obtenga un conocimiento de sus principales características, componentes básicos, funcionamiento.
- Cuantificar la oferta y demanda de energía eléctrica en la zona.
- Realizar un estudio de evaluación financiera de la PCH a través de indicadores financieros de la VAN y TIR.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Generalidades de las centrales hidroeléctricas

El agua que corre en los ríos, tiene una energía cinética que vence los obstáculos que se oponen a su paso. Esta energía depende de la velocidad del agua la que, a su vez, es función de la pendiente y de la rugosidad del cauce. Esta rugosidad puede disminuirse y, como consecuencia, el mismo caudal de agua podría circular con menor pendiente. De forma que podría derivarse la corriente de agua por otro canal lateral con menor rugosidad y menor pendiente que el cauce primitivo. Con esto, la diferencia de nivel entre las aguas del canal y el cauce del río iría aumentando a medida que fuese mayor la longitud del canal. En un punto apropiado se puede pasar este canal de agua por máquinas motrices hidráulicas que transformarían la energía potencial en energía actual devolviendo después el agua al río. De esta manera habríamos conseguido un salto de agua, con canal de derivación.

También se puede obtener este salto elevando el nivel del agua por atajamiento de la corriente mediante una presa o azud. En este caso, aguas arriba del obstáculo puesto a la corriente aumenta la sección en contacto con el agua, disminúyela velocidad necesaria de agua para dejar pasar el caudal del río y la pendiente necesaria para obtener dicha velocidad es menor que la que tenía la corriente. Esta pendiente superficial va aumentando a medida que, aguas arriba, resulta menor la sección en contacto con el agua y de esta manera se forma una curva de remanso, que se enlaza tangencialmente con las superficies de las aguas en la parte del cauce no afectada por el remanso. Por consiguiente, se produce un nuevo régimen para la corriente, que permite formar un salto de agua aprovechable junto a la presa.

Entre las soluciones citadas, Canal de derivación y Presa, Caben soluciones mixtas que son las más utilizadas: se ataja el río con una presa que embalse las aguas, las cuales se derivan, junto a la presa, con un canal que se prolonga hasta el punto conveniente que se sitúa la central. De esta forma, el salto de agua se

obtiene, en parte por elevación del nivel del agua en la presa y en parte por la menor pendiente del canal respecto al cauce.

Para el aprovechamiento de la energía hidráulica es necesaria una turbina dispuesta para la conversión de energía mecánica en energía eléctrica.

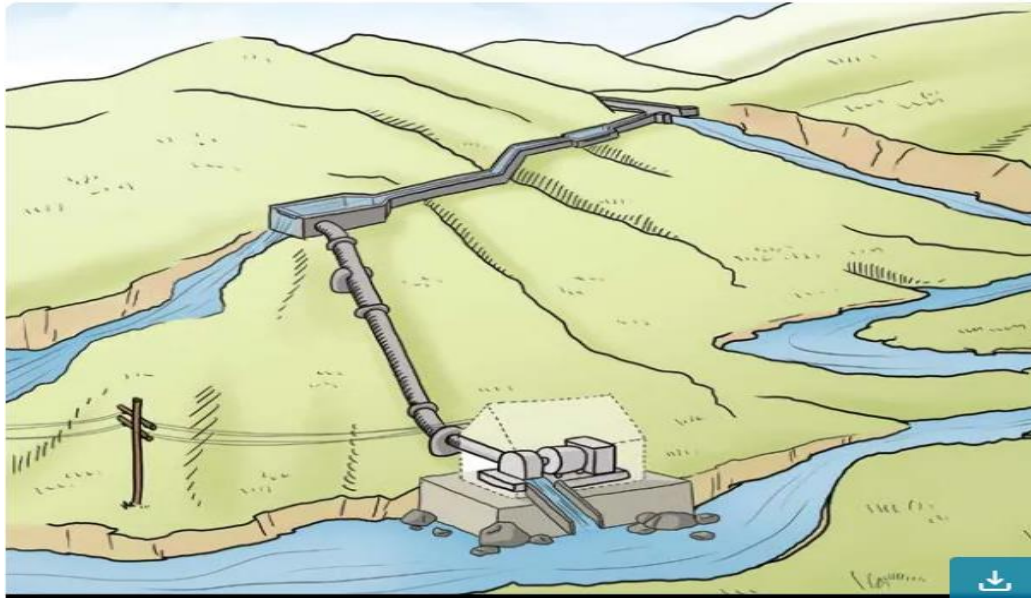
Actualmente la tendencia es a realizar grandes aprovechamientos con embalses de cabecera, que determina la regulación anual del río y depósitos reguladores, situados en lugares apropiados con los que se consigue la regulación diaria o semanal. En conjunto se pretende el aprovechamiento integral de un río o de una cuenca completa, mediante sucesivos saltos de agua, construidos en lugares más apropiados (sitios de mayor desnivel, o cuando el cauce es angosto y elevado, de esta manera resulta más económica la presa.

2.2 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 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 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.

Figura 2: Pequeña Central Hidroeléctrica.



2.2.1 Tipos de centrales hidroeléctricas.

Las centrales hidroeléctricas se dividen en tres macro categorías, según el tipo de sistema que se utilice: centrales de agua fluyente, centrales de embalse y centrales de bombeo o reversibles.

En las centrales de agua fluyente se utiliza la velocidad del caudal natural de un río situado en dos niveles diferentes. El agua se transporta a través de un túnel de derivación sin la ayuda de tuberías forzadas y llega hasta las turbinas. Así pues, la potencia de la central depende principalmente de la velocidad del agua que pasa de un nivel a otro, el llamado salto, y del caudal del río.

En cambio, en las centrales de embalse se utiliza un embalse aguas arriba, que puede ser natural —como en el caso de un lago— o conseguido gracias a la construcción de una presa. El agua se transporta a través de las tuberías forzadas de la presa hasta las turbinas de agua, que generan energía mecánica por rotación que luego se convierte en electricidad en el generador eléctrico rotatorio.

Aguas abajo existe otro embalse en el que las aguas turbulentas que acaban de pasar por las turbinas se calman antes de volver al caudal normal del río. La existencia del embalse aguas arriba, a diferencia de los sistemas de agua fluyente, permite controlar el caudal de agua y, por lo tanto, la producción de electricidad renovable.

Las centrales de bombeo o reversibles tienen dos embalses a diferentes alturas, uno aguas arriba y otros aguas abajo; este último actúa como reserva de energía. Durante las horas o momentos de menor demanda de energía, el agua se bombea desde el embalse aguas abajo hasta el embalse aguas arriba mediante una estación de bombeo, lo que permite lidiar con seguridad con los momentos de mayor demanda energética. En algunas centrales se pueden utilizar las características de reversibilidad de las turbinas Francis para convertirlas en bombas y devolver el agua al embalse aguas arriba.

La Organización Latinoamericana de energía OLADE clasifica las PCH de acuerdo a la potencia instalada como de muestra en la tabla 1

Tabla 1: Clasificación de PCH según potencia instalada.

Fuentes: ORTIZ Flores, Ramiro. Pequeñas

centrales hidroeléctricas, McGraw Hill, 2001.

Potencia (KW)	Tipo
0 - 50	Micro Central
50 - 500	Minicentral
500 - 5000	Pequeña Central

2.3 Pequeñas centrales hidroeléctricas

Las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH es su acrónimo) son centrales de generación de energía eléctrica con una capacidad instalada (kW) relativamente baja. Es factible construirlas en áreas aisladas y no representan gran importancia para el Sistema Nacional Interconectado –SIN- ya que su área de influencia es muy reducida.

Se definen como el conjunto de obras civiles y estructuras hidráulicas generales y específicas que, complementadas con un equipo electromecánico, aprovechan la energía potencial y cinética del agua en movimiento para producir energía eléctrica.

Esta energía es conducida por una línea de transmisión a los centros de consumo, en donde se utiliza en alumbrado público, residencial, operación de aparatos electrodomésticos y demás necesidades eléctricas de la zona en donde se realiza el proyecto. Tienen el inconveniente de proporcionar una corriente eléctrica variable, puesto que los cambios climáticos y meteorológicos pueden hacer variar el caudal de agua disponible.

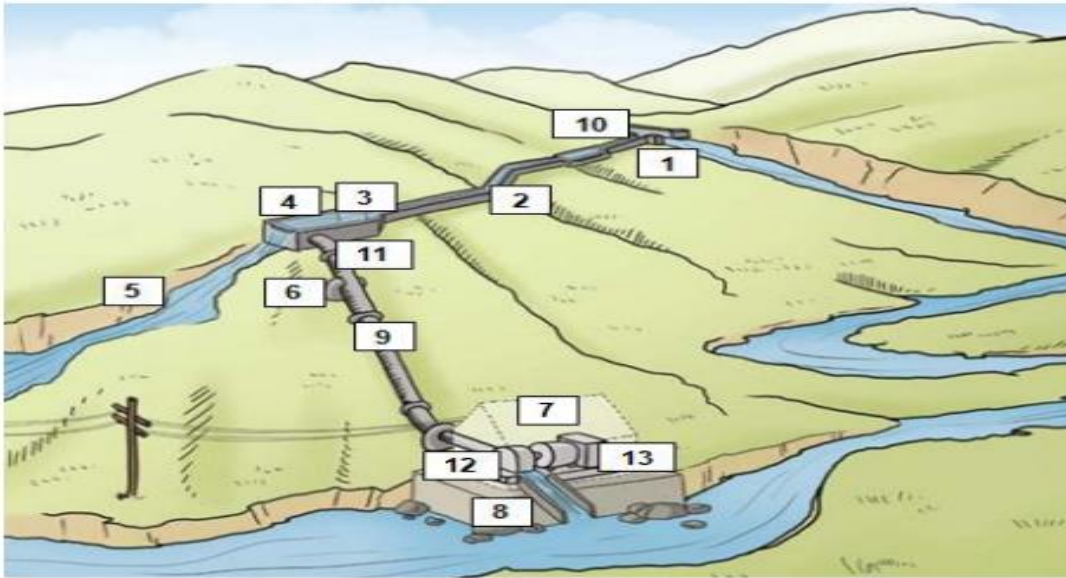
El aprovechamiento hidroeléctrico puede cubrir una demanda de energía eléctrica, principalmente de las poblaciones cercanas, la que en parte está cubierta actualmente por la distribuidora de energía eléctrica de Nicaragua, conectada al SIN; además puede formar parte de un sistema híbrido o constituirse como un sistema completamente aislado.

La demanda requerida por la PCH debe ser cubierta durante la totalidad de la vida útil del proyecto. En caso de estar interconectada, la demanda de la PCH puede ser cubierta temporalmente, y esta a su vez puede transmitir sus excedentes de potencia y energía al sistema.

2.4 Elementos que componen una PCH en derivación:

Como se mencionó anteriormente, las PCH se componen de un conjunto de obras civiles, estructuras hidráulicas y equipos electromecánicos.

Figura 3: Los elementos principales que componen una PCH



2.4.1 Obras Civiles:

- **Bocatoma (1):** Es la obra en la que se toma el caudal necesario para obtener la potencia de diseño.
- **Obra de conducción (2):** Es la encargada de conducir el caudal de la bocatoma al tanque de presión, tiene una pendiente leve, la más usada puede ser un canal, pero también son usados túneles o tuberías.
- **Desarenador (3):** Es un tanque de mayor dimensión a la obra de conducción en el que las partículas en suspensión pierden velocidad y son decantadas, cayendo al fondo.
- **Tanque de presión (4):** Es un tanque en el que la velocidad del agua es cercana a cero, empalma con la tubería a presión, y debe evitar el ingreso de sólidos y de burbujas de aire a la tubería de presión, y amortiguar el golpe de ariete; además, debe garantizar el fácil arranque del grupo turbina-

generador y tiene un volumen de reserva en caso de que las turbinas lo soliciten.

- **Aliviadero (5):** Se usa para eliminar el caudal de exceso en la bocatoma y el tanque de carga regresándolo al curso natural.
- **Anclajes (6):** Estructuras encargadas de sujetar la tubería de presión por efecto de la presión del agua y por las dilataciones que sufre la tubería debido a cambios de temperatura.
- **Casa de máquinas (7):** Es el sitio donde se encuentra la turbina, los generadores, los equipos auxiliares, las válvulas de admisión y los aparatos de maniobra, regulación y protección; allí se transforma la energía hidráulica en mecánica, y ésta en eléctrica; en la casa de máquinas está la conexión al sistema de transmisión.
- **Canal de salida de agua turbinada (8):** Esta estructura sirve para conducir nuevamente a su cauce el agua que se derivó para turbinar o generar energía eléctrica

2.4.2 Estructuras hidráulicas

- **Tubería de presión (9):** Es la tubería que transporta el caudal de diseño a la turbina; se apoya en anclajes que soportan la presión de agua y la dilatación por los cambios de temperatura.
- **Compuertas (10):** Se utilizan para regular la entrada o salida de caudal en diferentes partes del sistema según diseño
- **Válvulas (11):** Ubicadas en la tubería de presión para controlar la entrada o el impedir el flujo de caudal.

2.4.3 Equipo electromecánico

- **Turbinas hidráulicas (12):** Son máquinas que transforman la energía potencial, cinética y de presión del agua, en energía mecánica de rotación. Se clasifican según su funcionamiento, en turbinas de acción, las cuales utilizan solo la velocidad del agua para poder girar; y en turbinas de

reacción que emplean, tanto la velocidad como la presión, para desempeñar el trabajo de rotación.

- **Generador (13):** Es una maquina acoplada a la turbina, que convierte la energía mecánica de rotación en energía eléctrica, en su circuito de salida.
- Elementos complementarios: Subestación, barraje, reguladores, alarmas, protecciones, tableros de medida y sistemas de comunicación entre otros.

Capítulo 3. Proyecto y ciclo de vida de un proyecto

3.1 Preparación del proyecto

Según la Guía del PMBOX: “Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. La naturaleza temporal de los proyectos indica un principio y un final definidos.

El final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto o cuando se termina el proyecto porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos, o cuando ya no existe la necesidad que dio origen al proyecto. Temporal no necesariamente significa de corta duración. En general, esta cualidad no se aplica al producto, servicio o resultado creado por el proyecto; la mayor parte de los proyectos se emprenden para crear un resultado duradero”.

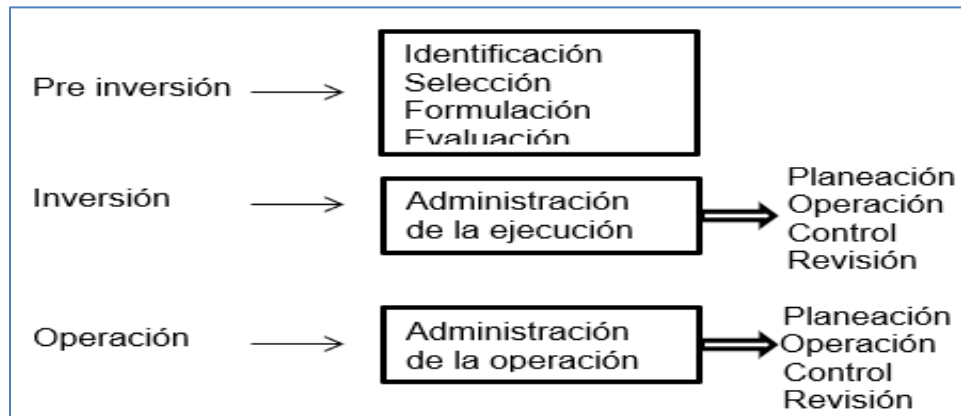
Nassir Sapag, 1991:

- Aborda en forma explícita el problema de a la asignación de recursos escasos en forma óptima.
- Recomienda al tomador de decisiones, através de distintas metodologías, para determinar la conveniencia relativa de una acción o proyecto

A continuación, daremos algunos ejemplos de cómo distintos autores ven la etapa de preparación del proyecto: Ciclo del proyecto Según Miranda, 1999:

Figura 4: Ciclo de vida del Proyecto

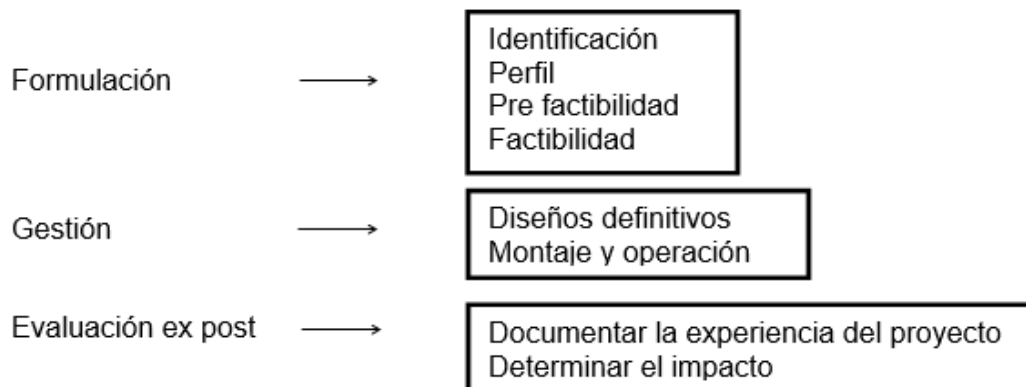
Fuente: Miranda 1999



En este cuadro se hace referencia a las etapas de pre inversión, ejecución, operación y evaluación ex-post del proyecto, donde él plantea 3 grandes etapas: La pre inversión, la inversión y la operación. Según Karen Mokate, 2004:

Figura 5: Ciclo de vida del Proyecto

Fuente: Karen Mokate 2004



En el cuadro anterior (Figura 4) Mokate involucra una secuencia de tareas que se inicia con la definición y delimitación de una jerarquía de objetivos

interrelacionados en una cadena medio-fin. Incluye la formulación y evaluación de diversas alternativas, la selección de la mejor alternativa, la gestión de la misma y solo se considera “terminado” con una evaluación ex post, cuyas conclusiones deben servir para alimentar la definición y ejecución de proyectos futuros. Este conjunto de actividades es denominado el “ciclo del proyecto”.

Si se observa con cuidado, Miranda y Mokate plantean el ciclo en tres pasos por etapas, los cuáles son muy similares, la diferencia radica en que Miranda nombra las 4 etapas dentro de lo que Mokate denomina la formulación con cambios sencillos en el significado de cada paso.

Las etapas de preparación tienen por objeto definir todas las características que tengan algún grado de efecto en el flujo de ingresos y egresos monetarios del proyecto. Una etapa previa a la del estudio del proyecto propiamente tal es la identificación de la *idea*, la cual representa generalmente la realización de un diagnóstico, que detecta la necesidad que llenaría el proyecto y que identifica las vías de solución.

El nivel de estudio inicial es el denominado *perfil*, el cual se elabora a partir de la información existente, el juicio común y la opinión que da la experiencia. En términos monetarios solo presenta estimaciones muy globales de las inversiones, costos o ingresos, sin entrar en investigaciones de terreno.

Otro nivel de estudio es el llamado de *prefactibilidad*. Este estudio profundiza la investigación, basándose principalmente en información de fuentes secundarias para definir con cierta aproximación las variables principales referidas al mercado, a las alternativas técnicas de producción y a la capacidad financiera de los inversionistas, se estiman las inversiones probables, los costos de operación y los ingresos que demandará y generará el proyecto.

El nivel de estudio más acabado se denomina *factibilidad*, el cual se elabora sobre la base de antecedentes precisos obtenidos mayoritariamente a través de fuentes primarias de información. El cálculo de las variables financieras y económicas

deben ser lo suficientemente demostrativos para justificar la valoración de los distintos ítems. Se puede profundizar el estudio de “la mejor alternativa”. Esta etapa constituye el paso final del estudio PRE inversional.

3.2 Proceso de planificación

Un problema típico del proceso de diseño no es solo técnico, sino también de cómo financiarlo.

Esto se debe a que desarrollar un plan detallado corre el riesgo de gastar dinero sin tener la certeza de que luego se construirá la planta o, en todo caso, sin saber primero cuál será su posible rentabilidad.

Por esta razón, es apropiado proceder con los pasos intermedios, de menor costo, antes de incurrir en los costos significativos de un estudio de factibilidad real.

Los pasos del proceso de diseño pueden ser los siguientes.

1. Selección de sitio
2. Estudio de prefactibilidad
3. Estudio de factibilidad
4. Diseño de construcción

Cada paso corresponde a una parte del costo final del diseño y esto permite evitar altos costos al inicio y también calibrarlos de acuerdo con los fondos disponibles: por ejemplo, el estudio de factibilidad se puede desarrollar solo después de haberlo verificado, a través de un estudio de prefactibilidad, que la planta tiene buenas posibilidades de ser viable desde el punto de vista técnico, ambiental, legal y, finalmente, financiero

3.3 Proceso de desarrollo PCH

El desarrollo de una PCH es un proceso muy complejo, que involucra muchas habilidades especializadas, necesarias para abordar la variedad de problemas que generalmente caracterizan el diseño de un esquema hidroeléctrico.

En detalle, los elementos técnicos incluyen la siguiente área de expertos:

-
- hidrología
 - geología y geotecnia
 - hidráulica; • ecología
 - ingeniería civil
 - ingeniería mecánica
 - ingeniería eléctrica
 - ingeniería electrónica

Además, se solicita un peritaje específico para la gestión de licitaciones, procedimientos de autorización y cierre financiero de la inversión.

Por eso es muy importante que el proyecto de una central hidroeléctrica sea abordado por un equipo capaz de trabajar en estrecha colaboración.

Para PCH, este enfoque puede resultar demasiado caro y, por lo tanto, muchas de las habilidades se confían a un pequeño equipo o incluso a un solo diseñador, que debe integrar el bajo nivel de especialización en determinadas áreas con una larga experiencia específica en el campo hidroeléctrico.

Capítulo 4. Estudio Técnico

Con el desarrollo del Estudio Técnico de la PCH se diseña la forma en que se generará la energía eléctrica que será entregada. El estudio técnico permite definir los siguientes componentes del proyecto hidroeléctrico:

- Ubicación de la PCH y definición de la zona de aprovechamiento hídrico.
- Cálculo del caudal de diseño que debe garantizar la obtención de la potencia de generación hidroeléctrica estimada en función de las condiciones hidrológicas de la zona de aprovechamiento.
- Equipos electromecánicos que se deben utilizar, dentro del cual sobresale el tipo de turbina a utilizar.

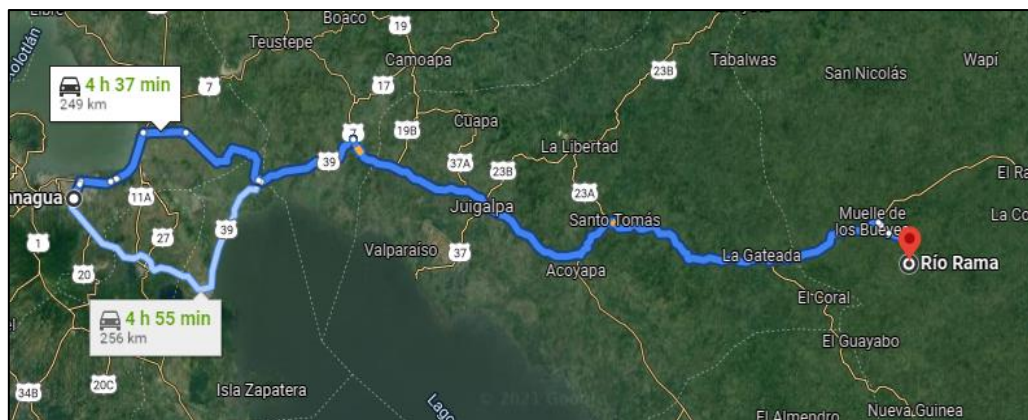
4.1 Descripción del Proyecto

El proyecto PCH Rio Rama se ubica aproximadamente a 249 km de distancia de la ciudad de Managua. Se encuentra al sur del municipio Muelle de los Bueyes, del departamento de la RAAS. El acceso al Proyecto PCH Rio Rama se realiza, como resumen, de la siguiente manera:

1. Se sigue la carretera desde Managua hacia Muelle de los Bueyes
2. Del municipio de muelle se toma vehículo y lancha motorizada para llegar al rio rama.

Se sigue una trocha existente desde el poblado Muelle de los bueyes hacia el sitio del Salto ubicado 5 km al suroeste del poblado.

Figura 6: Ubicación del proyecto de la pequeña central Hidroeléctrica



4.1.1 Topografía

En las áreas levantadas es necesario cubrir los sitios de las obras de captación, conducción y casa de máquinas, camino de acceso y sistema de transmisión. El levantamiento debe ser ejecutado con un equipo topográfico de Estación Total y GPS, obteniendo así los detalles necesarios para el diseño de las obras y elaboración de mapas geo-referenciados del proyecto en escalas adecuadas, para proceder con el diseño. Es necesario verificar la calidad del levantamiento topográfico aplicando los métodos y programas estándar AutoCAD y Land Development. En el sitio del proyecto es necesario colocar Mojones de concreto,

quedando ubicados de manera que puedan localizarse fácilmente para el replanteo y futura construcción de las obras hidráulicas.

4.1.2 Hidrología

Los datos de Hidrología **fueron facilitados por la alcaldía de Muelles de los bueyes** los cuales se presenta a continuación.

Tabla 2: Dato Hidrología (Caudal)

Fuente: Alcaldía

Precipitación	3000mm
Evapotranspiración	1404.7 mm
Escorrentía	1595.3 mm
Qd	4.30 m ³ /s m ³ /s

Tabla 4: Dato Hidrología(salto)

Fuente Alcaldía

Exc. %	PCH m ³ /s
	17.66
0	92.5
5	51.65
10	39.1
15	31.98
20	28
25	24.4
30	21
35	17.95
40	14.55
45	12.2
50	9.68
55	7.18
60	4.72
65	3.56
70	3.1
75	2.65
80	2.3
85	1.95
90	1.5
95	0.95
100	0.02

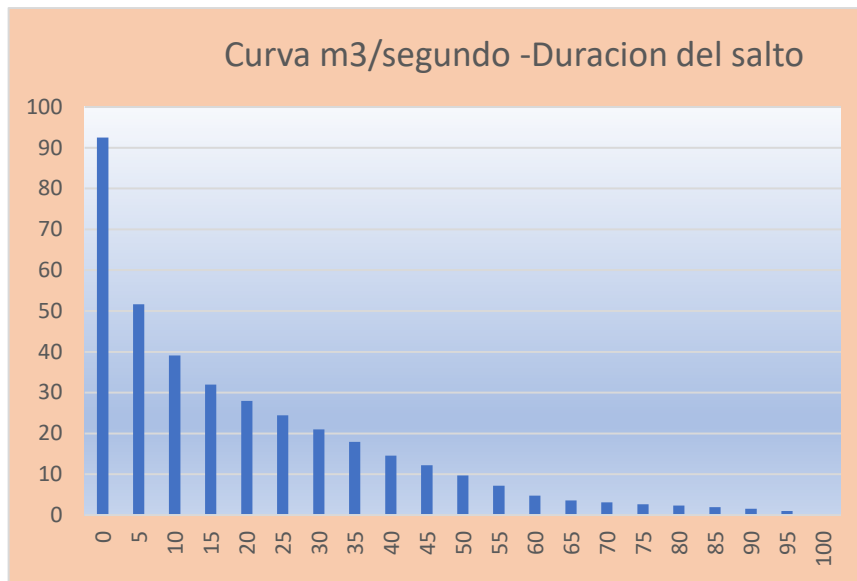
Tabla 3: Dato Hidrología(crecidas)

Fuente: Alcaldía

Crecidas máximas	
Proyecto	PCH RAMA
Área	315
Años	m ³ /seg
10	584
20	713
100	999
500	1282
1000	1403
10000	1806

Figura 7: Caudal M³/s versus porcentaje de duración del salto.

Caudal suministrado # 4.30 m³/s



4.4.3 Medición de caudal

Conceptos básicos

Hidrometría

La Hidrometría se encarga de medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería en la unidad de tiempo.

Importancia

La hidrometría permite conocer los datos de caudales y volúmenes en forma oportuna y veraz. La información hidrométrica también permite lograr una mayor eficiencia en la programación, ejecución y evaluación del manejo integral del agua. (Organización Meteorológica Mundial, 2011)

El uso de una información hidrométrica ordenada permite:

a. Dotar de información para los pronósticos de la disponibilidad de agua, esta información es importante para elaborar el balance hídrico y planificar la distribución del agua de riego.

-
- b. Monitorear la ejecución de la distribución del agua.
 - c. La información hidrométrica también permite determinar la eficiencia en el sistema de riego y de apoyo para la solución de conflictos.

4.1.4 Secciones de control de aforo

Se refiere al punto donde se efectúa la medición del caudal, en una sección transversal de un río. (Organización Meteorológica Mundial, 2011).

Esta sección, además, debe cumplir con ciertas características importantes como:

- a) accesibilidad, es decir, que debe existir un poblado cercano o carretera de fácil acceso.
- b) ubicación del tramo de aforo, el cual debe ser estable para que no suceda sedimentación o erosión del mismo
- c) rangos de velocidad del agua del río entre 0.1 a 2.5 m/s.
- d) sección homogénea a lo largo del tramo, tanto arriba como abajo del punto de aforo.
- e) ubicación donde el flujo de agua sea calmado con la menor influencia de turbulencia
- f) libre de malezas o cualquier otro obstáculo que pueda provocar imprecisiones en la medición, principalmente arriba del punto de medición.
- g) Tanto arriba como abajo del punto de aforo debe estar libre de la influencia de puentes, presas y cualquier otra construcción que altere la medición

Existen varios tipos de secciones de aforo:

a. Sección de forma natural

Tienen la característica que su área es variable, teniendo el problema que en ella se produce mucha sedimentación o erosión, lo que impide la toma de caudales exactos principalmente en época lluviosa.

b. Sección con tablonés

Este tipo de puntos de aforo, se caracteriza por poseer tablonés enterrados en las orillas del río, obteniéndose una figura o forma geométrica regular, donde se

puede calcular el área de la sección y donde no se tendrán muchos problemas de sedimentación o erosión como en el caso anterior.

c. Sección de concreto

Esta sección de aforo es la más ideal, debido a que nos expresa un área permanente o invariable en el tiempo, pero tiene el inconveniente de su elevado costo y trabajos en el cauce del río, así como su mantenimiento.

Métodos de aforo: Los métodos prácticos de aplicación más utilizados son: (Organización Meteorológica Mundial, 2011). (Método volumétrico, Medidor Parshall, Método de vertederos y orificios y Método de sección-velocidad, calculando la velocidad con: Flotador o Molinete

El estudio hidrológico permite determinar parámetros como la potencia y la energía, que son necesarios para el correcto funcionamiento de una PCH a lo largo del tiempo, ya que éstas dependen del comportamiento hidrológico de la zona en donde se encuentran localizadas (Castañeda Acosta, 2016).

En zonas aisladas, los datos hidrológicos son escasos, y en este tipo de proyectos muchas veces se necesitan datos de cuencas pequeñas, donde la información es aún menor. Para los estudios hidrológicos de una PCH se pueden generar situaciones de falta de datos, y de acuerdo a éstas se presentan las siguientes situaciones: si se tiene información pluviométrica más no hidrológica es posible determinar los caudales máximos, mínimo y medio.

Si no se cuenta con información ni hidrológica y pluviométrica cercana a la bocatoma o si se tiene información de un sitio de la cuenca del afluente alejado de la bocatoma, es posible transponer información de una cuenca vecina o de una cuenca similar (Mora Navarro & Hurtado Liévano, 2004)

Cuando existe información hidrológica la medición de los caudales del río se realiza en las estaciones de aforo, donde se registran los caudales instantáneos que circulan por el tramo del río donde está ubicada la estación y a partir de estos se determinan los caudales máximos, medios y mínimos diarios correspondientes

a un gran número de años, con los que se elaboran series temporales agrupadas por años hidrológicos. La información hidrológica de caudales medios y la probabilidad de ocurrencia de ellos, permite determinar el caudal de diseño, el caudal máximo y su periodo de retorno. Al final, en todo estudio hidrológico, sea teórico o con datos reales de caudales, se obtendrá una serie anual lo suficientemente grande para realizar una distribución estadística que tipifique los años en función de la aportación registrada: años muy secos, secos, medios, húmedos y muy húmedos (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2006).

4.2 Propuesta de Proyección de Equipos

- **Válvula de Cierre**

La PCH Rio Rama debido a la baja caída bruta de 19.5 m se sugiere no equiparlas con válvulas de cierre. Los álabes directrices de las turbinas Cross Flow cumplen en este caso la función de válvulas de cierre. Para fines de mantenimiento y situaciones de emergencia, se puede cerrar una compuerta vertical en la captación.

- **2 turbinas (Según los cálculos en base a caudal se sugieren el uso de 2 turbinas)**

La selección de las turbinas se llevó a cabo de acuerdo a los siguientes parámetros y criterios principales:

Caída neta disponible	17.75 m
Caudal disponible (máx - mín)	4.3 m ³ /s
Demanda mínima de potencia	313 kW

Los gráficos con los campos de aplicación de turbinas hidráulicas, suministrados por fabricantes, muestran, que para la PCH Rio Rama la implementación de dos turbinas Cross Flow (Mitchel-Banki) de eje horizontal es técnicamente conveniente.

Esas turbinas son robustas, sencillas, fácil de mantener y fácil de montar. Su gran ventaja en comparación con pequeñas turbinas Francis es su capacidad de autolimpieza por medio del flujo que cruza el interior del rodete. Al salir el agua del rodete arrastra cualquier objeto atascado entre las aspas.

Esas turbinas se destacan también por su capacidad de operar de manera segura con caudales entre 100% al 17%, manteniendo el rendimiento bastante constante. En lugares donde oscilaciones de caudal inciden sensiblemente en la generación, turbinas de flujo cruzado constituyen una excelente solución.

Cada una de estas turbinas tendrá para la regulación del caudal dos álabes directrices en el ducto de entrada, operadas - a través de palancas - por servomotores a presión de aceite. La velocidad de rotación es de aproximadamente 230 r.p.m. y la potencia 315 kW en el eje de cada turbina.

El diseño de la turbina deberá ser moderno, contando con elementos industriales estándar como empaques, O-ring, sellos, retenedores, etc. Los rodamientos del eje del rodete deberán ser (sobre-) dimensionados para garantizar un tiempo de operación permanente de por lo menos 20 años.

- **2 reguladores**

Para la regulación de velocidad de cada turbina se deberá implementar un sistema compuesto por:

- 1 regulador electrónico digital, programable
- 1 paquete de software
- 1 unidad Oleo-Hidráulica de alta presión
- 2 sondas de captación de impulsos de velocidad o un tacómetro
- 1 volante montado sobre el eje del generador
- 1 sistema de retroalimentación de la posición de los álabes directrices

Las sondas de captación de impulsos de velocidad, provenientes de una rueda dentada montada sobre el eje de la turbina o de un tacómetro, envían señales de referencia por cables blindados al regulador electrónico, cuyo sistema procesa la información recibida. Este cerebro digital emite las señales de control a las

válvulas del regulador hidráulico y a los mecanismos hidráulicos de apertura y cierre de los álabes directrices de la turbina.

Cuando la velocidad nominal aumenta debido a desconexión de carga, los álabes cierran el paso del agua hacia rodete y regulan así la velocidad. El regulador electrónico estará ubicado en el Gabinete de Control Turbina.

- **2 generadores**

Dado a que la PCH Rio Rama operará como un sistema aislado, se seleccionaron generadores síncronos. Cada generador, de eje horizontal, tendrá las siguientes características:

Voltaje	400 - 440 V
- Potencia	360 kVA
- Velocidad	400 - 1200 rpm.
- Vel. de embalamiento	x 1.8
- Frecuencia	60 Hz
- Factor de potencia	0.8
- Clase de aislamiento	F
- Clase de aumento temp.	B
- Tipo de protección	IP23
- Tipo enfriamiento	IC01

Cada generador será de tipo auto excitado y contendrá un regulador automático de voltaje. La excitatriz tendrá un interruptor propio, que abrirá de inmediato el circuito de excitación del generador en el caso de que se presente un rechazo repentino de carga.

Los generadores estarán conectados a tierra por medio de un transformador de tierra, un seccionador y una resistencia.

Para la interconexión de los 2 generadores de la PCH se implementará un equipo electrónico de sincronización de frecuencia, voltaje y secuencia de fase.

- **Transformadores**

Para la elevación del voltaje de generación de 400/440 V a 24.9 kV se implementará un transformador trifásico en baño de aceite, para instalación a la intemperie, con una capacidad de 800 kVA.

El suministro de energía para la casa de máquinas será realizado mediante la implementación de un transformador de 15 kVA, con una relación de transformación de 400/440 V a 240/120 V.

- **2 Gabinetes de Control Turbina**

Cada gabinete estará equipado con los dispositivos de operación y control de una turbina:

- Regulador electrónico
- Instrumentos y/o displays
- Botón de cierre de emergencia de la turbina
- Lámparas de indicación de estado
- Suministro interno de voltajes AC y DC
- Contador de horas de operación

El gabinete contará con una lámpara fluorescente, un calefactor, un ventilador y una alarma. El cuerpo metálico, protegido por pinturas aptas para ambiente húmedo, estará debidamente conectado al sistema de puesta a tierra de la PCH.

La tropicalización del gabinete garantizará su buen funcionamiento, no obstante, de ataques de insectos y hongos.

- **2 gabinetes de Control Generador**

Cada gabinete de control generador estará equipado con los siguientes dispositivos de control y protección del generador:

- 1 Relay Multifuncional
- 1 Tablero de alarmas
- Lámparas de indicación

-
- Instrumentos o displays de medición de voltaje, corriente, frecuencia
 - Suministro interno de voltajes AC y DC
 - Botón para aplicación de calefacción al generador
 - 1 interruptor principal del generador

Las siguientes protecciones serán implementadas:

- Sobrevelocidad
- Sobrecarga
- Sobrecorriente
- Sobrevoltaje
- bajo voltaje
- Sobrefrecuencia
- Baja frecuencia
- Simetría de voltaje
- Alta temperatura de bobinas del generador, en dos pasos

En un gabinete estará instalado el equipo electrónico de sincronización. Este equipo actuará directamente sobre el regulador de la turbina a sincronizar.

Cada gabinete del generador contará con una lámpara fluorescente, un calefactor, un ventilador y una alarma. El cuerpo metálico, protegido por pinturas aptas para ambiente húmedo, estará debidamente conectado al sistema de puesta a tierra de la PCH.

La tropicalización del gabinete garantizará su buen funcionamiento, no obstante, de ataques de insectos y hongos.

- **Gabinete de Interruptores**

En este gabinete estarán ubicados los siguientes interruptores:

- Interruptor principal de salida
- Interruptor de entrada al transformador de 15 kVA
- Interruptor de la planta de emergencia
- Interruptores de los motores de los reguladores

El gabinete estará debidamente climatizado, con ventilación asegurada con cedazo, impermeabilizado con pinturas especiales y tropicalizado.

Gabinete de protección del Transformador y Medición de Salida Las protecciones del transformador corresponden a:

- alta temperatura
- sobrecorriente

En el mismo gabinete estarán ubicados los instrumentos para la indicación de:

- voltaje de salida [kV] x 3 fases x neutro
- corriente de salida [A] x 3 fases
- potencia [kW]
- potencia reactiva [kW_r]
- medidor de kWh

El gabinete estará debidamente climatizado, tendrá aberturas de ventilación aseguradas con cedazo, impermeabilización con pinturas especiales y calefacción para impedir condensación en el gabinete en caso de paradas prolongadas de la turbina. La tropicalización del gabinete garantizará su buen funcionamiento, no obstante, de ataques de insectos y hongos.

- **Cargador de Baterías y Panel de Distribución DC**

El cargador de baterías estará conectado al banco de baterías y sistema AC de la PCH, para la carga permanente y para el suministro de voltaje DC de 48 V al sistema eléctrico del equipo de generación y gabinetes respectivos.

Los circuitos DC estarán protegidos por interruptores, ubicados en el Panel de Distribución DC, instalado encima del cargador.

- **Banco de Baterías**

Para garantizar, en el caso de parada de los equipos de generación, el suministro de energía (DC) a los gabinetes eléctricos y luminarias de emergencia instaladas

en la casa de máquinas, la PCH contará con un banco de baterías estacionarias, libres de mantenimiento, con una capacidad de 120 Ah.

Las baterías, ubicadas en un cuarto en el extremo de la casa de máquinas, serán cargadas en forma flotante por un cargador.

- **Planta de Emergencia**

La PCH Rio Rama estará dotada con una planta eléctrica de emergencia de 4.5 kW, con motor de gasolina, ubicada en un cuarto en el extremo de la casa de máquinas.

El tubo de escape de gases conduce hacia afuera. La ventilación del cuarto se realizará mediante apertura de una puerta de la casa de máquinas hacia afuera y el aislamiento de ruido mediante cierre de una puerta hacia el interior de la casa de máquinas. Esta planta tendrá la función de suministrar energía eléctrica para:

- Inspecciones de los equipos principales (turbina parada)
- Mantenimientos mayores
- Eventuales reparaciones
- Carga del banco de baterías durante paradas prolongadas
- Iluminación de la casa de máquinas durante paradas prolongadas

La planta estará interconectada con el sistema eléctrico de la casa de máquinas y el cargador de baterías por medio de un interruptor.

Generadores

La energía mecánica de una unidad hidráulica rotatoria es convertida a electricidad mediante el uso de generadores. En la práctica, tres tipos de generadores trifásicos: sincrónicos, asincrónicos y unidades sincrónicas magnéticas. Las diferencias son esenciales desde la construcción hasta el principio de operación.

Parámetros básicos

Las características más esenciales de un generados son descritas por los siguientes parámetros: voltaje U , potencia S , factor de potencia $\cos \phi$, frecuencia

f, velocidad rotacional n, voltaje de excitación U_{exc} e intensidad de corriente I_{exc} (en el caso de generadores sincrónicos).

La velocidad rotacional sincrónica [rpm] depende de la frecuencia de la grilla y del número de polos p según la siguiente relación:

$$n = \frac{60 * f}{p}$$

El voltaje y la corriente, expresadas en voltios [V] y en amperios [A], son definidas en sus respectivos valores. Adicionalmente, el termino de voltaje hace referencia al voltaje interface. La relación entre la interface (línea/línea) y voltaje fase (línea/neutro), U_{L-L} y U_{L-N} , respectivamente, están relacionadas por:

$$U_{L-L} = \sqrt{3} * U_{L-N}$$

La potencia del generador es expresada según la potencia aparente S expresada en voltio-amperio [VA] y es igual a la suma de las potencias de todas las fases:

$$S = 3 * U_{L-N} * I = \sqrt{3} * U_{L-L} * I$$

La potencia aparente es una suma geométrica de las potencias activas (utilizable) y la potencia reactiva, P y Q, respectivamente:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

La potencia activa generada por el generador y expresada en vatios [W] es definida por la siguiente formula:

$$P = S * \cos(\varphi)$$

Donde φ denota el cambio de fase entre corriente y voltaje. La potencia reactiva, expresa en VAR, es representada por la siguiente ecuación:

$$Q = S * \sin(\varphi)$$

La potencia reactiva puede ser inducida (con voltaje precedente a la corriente) o capacitivo (con corriente precedente al voltaje).

Otro parámetro importante es la eficiencia η la cual define la fracción de energía mecánica entregada al generador y que es convertida en energía eléctrica, útil para el consumidor.

Generadores sincrónicos

Los generadores sincrónicos son especialmente utilizados en unidades hidráulicas con capacidades menores a varios cientos de KW. El estator de las máquinas sincrónicas representa un devanado de AC trifásica, mientras en el devanado de DC (excitación) está comprendida por el rotor. El devanado de excitación se puede alimentar desde un generador que representa una parte de la unidad hidráulica (excitación rotatoria o desde un rectificador alimentado por una fuente externa de electricidad (excitación estática).

Cuando está en funcionamiento, el rotor y el campo magnético del estator mantiene un posicionamiento relativamente constante (rotación sincrónica), lo cual equivale a mantener una velocidad constante cuando rotan en paralelo a una grilla rígida. En el caso de una unidad sincrónica operada dentro de un sistema de energía eléctrica, cambiar el generador a la red se llama sincronización. Las siguientes condiciones deben cumplirse:

- Ordenación constante de fases en el generador y la red
- Frecuencia constante del generador y la red
- Voltaje efectivo constante en el generador y la red
- Cambios de fase de voltaje consistentes

Los generadores sincrónicos cumplen un rol esencial en la red eléctrica al permitir una capacidad de operación autónoma (operación de redes aisladas) y reconstrucción del sistema eléctrico (arranque en negro), así como también la regulación del voltaje y potencia reactiva. Las desventajas incluyen mayores costos de implantación de las unidades sincrónicas y los sistemas auxiliares.

Generadores asincrónicos

Los generadores asincrónicos (Figura 8) son generalmente usados en plantas eléctricas de pequeñas capacidades (hasta 1 MW). Motors típicos de inducción son generalmente instalados para este propósito. El estator de este tipo de máquinas toma la forma de un devanado de AC trifásica, mientras el rotor representa una jaula compacta. Cuando está en funcionamiento, el rotor cambia de posición con respecto al estator (el flujo del campo magnético del rotor y del estator se mueven de forma asincrónica entre sí).

Las maquinas asincrónicas funcionara como generador si la velocidad de su rotor es mayor que la sincrónica. Básicamente, los generadores asincrónicos generan electricidad cuando trabajan en paralelo a la red eléctrica, suministrando la potencia reactiva necesaria para la magnetización (corriente de magnetización). El funcionamiento autónomo de un generador asincrónico es posible, pero requiere la aplicación de sistemas adicionales que permitan excitar la máquina y estabilizar el voltaje y la frecuencia.

Figura 8: Generadores asincrónicos



Generador asincrónico (Little, 2016)

Entre las ventajas del generador asincrónico se debe contar su diseño simple y de bajo costo. Las desventajas incluyen la incapacidad de operación autónoma (la operación en redes aisladas requiere el empleo de sistemas auxiliares

especializados) y la necesidad de compensación de potencia reactiva. Un inconveniente adicional es la necesidad de utilizar un aumentador de velocidad que permita la transferencia de potencia mecánica desde el eje de la turbina hidráulica hacia el generador.

Generadores sincrónicos de imanes permanentes

El estator de los generadores sincrónicos de imanes permanentes se fabrica generalmente como un devanado trifásico, mientras que el devanado de excitación se reemplaza por imanes permanentes. En este tipo de máquinas el voltaje y la frecuencia dependen de la velocidad de rotación. La alta eficiencia en una amplia gama de velocidades de rotación debe considerarse como una ventaja significativa. Las desventajas incluyen un costo relativamente alto y la necesidad de utilizar sistemas electrónicos de conversión de energía que permitan el funcionamiento en paralelo con la red.

- **Sistema de Distribución Eléctrica**

Se diseñó un sistema trifásico aislado (isla), con distribución primaria en 24.9 Y/14.4 kV, a cuatro hilos, y distribución secundaria en 240/120V, a tres hilos, con cable tipo A.C.S.R. y postes de madera. La longitud total del sistema de cables es de 16.903 km. El sistema tendrá incorporado una red de iluminación de los puntos importantes de las comunidades, como plazas, calles centrales, escuelas, centros de salud, embarcadero etc.

El sistema estará completamente habilitado para atender la demanda de energía eléctrica de los habitantes del poblado Muelle de los bueyes. Se considera el Sistema de Distribución Eléctrica, toda la longitud de la línea de distribución, desde la salida del transformador trifásico en la PCH, conectado al poste en dicha subestación, hasta la última acometida domiciliar del ramal, considerando el contador de energía como el extremo de la acometida domiciliar.

El sistema estará protegido, contra descargas atmosféricas, por pararrayos adecuadamente instalados en los diferentes puntos de la línea, y por protección contra cortocircuitos. Se denomina Subestación Eléctrica al transformador elevador trifásico de 400V/24.9kV, instalado a la salida de la PCH, el interruptor principal, el seccionador, pararrayos, el gabinete de protección y medida y la conexión a tierra, considerados como parte integrante de esta.

Los transformadores de distribución estarán ubicados a lo largo de la postería de madera y se utilizarán tanto para la distribución domiciliar y de micro industrias como para el sistema de iluminación, con en fin de bajar costos del sistema.

Por necesidad de protección y facilidad de operación, se instalarán cuchillas seccionadoras, en los puntos más convenientes de la línea, indicados en los diagramas unifilares de la línea de distribución

4.3 Potencia y Energía Eléctrica

Energía se define como la cantidad de trabajo que un sistema físico es capaz de producir, la cual no puede ser creada, ni consumida, ni destruida. Sin embargo, la energía puede ser convertida o transferida en diferentes formas: la energía cinética del movimiento del agua puede ser convertida en energía rotacional por el rotor de una turbina, que a su vez puede ser convertida en energía eléctrica por el generador de la turbina.

En cada conversión de energía, parte de la energía proveniente de la fuente es convertida en energía calorífica. Por ejemplo, los generadores nunca tienen una **Eficiencia** del 100%, debido a las pérdidas de calor por fricción en los cojinetes, o a la fricción surgida por el movimiento del agua.

El generador produce la electricidad, la que se mide en términos de cantidad de energía eléctrica que son capaces de convertir a partir de la energía cinética del

agua en términos de **kilovatios-hora** (kWh), de **megavatios-hora** (MWh) o **Gigavatios –hora** (GWh) durante un cierto periodo de tiempo, normalmente un año. La **Potencia Eléctrica** se mide en **vatios** (W), **kilovatios** (kW), **megavatios** (MW), etc. La potencia es transferencia de energía por unidad de tiempo. La potencia es medida en cualquier instante de tiempo, en tanto que la energía debe ser medida durante un cierto periodo.

Capítulo 5. Estimación de la Demanda

El presente análisis describe principalmente una estimación sistemática de la demanda de energía eléctrica para la PCH Rio Rama, así como sus proyecciones durante la vida útil del proyecto. Los datos utilizados dentro de este estudio fueron obtenidos mediante información de la alcaldía de muelle de los bueyes y datos de poblaciones aledañas al proyecto.

El estudio de demanda de energía eléctrica para la PCH Rio Rama pretende determinar los requerimientos energéticos de los usuarios finales de la PCH que se instalará en el municipio Muelle de los bueyes de la RAAS. Estos usuarios serán divididos, para fines analíticos, en tres grupos principales: sector comunitario, sector doméstico y sector productivo.

Para estimar la demanda eléctrica de cada grupo principal se tipificaron los elementos de consumo reflejados en base a dos parámetros: potencia eléctrica de cada elemento y sus horas de operación. Variaciones temporales y estacionales serán consideradas para cada elemento de consumo.

a) Potencia

Los dos parámetros principales para la definición de la potencia hidráulica de la PCH Rio Rama son:

$$\text{El Caudal [Q] disponible} = 4.30 \text{ m}^3/\text{s}$$

La caída [H] aprovechada = 17.66 m (neto)

Aplicando los cálculos para la potencia hidráulica en el eje de cada turbina, obtenemos:

$$P = Q * H * g * \eta T$$

Donde:

g = constante de gravedad: 9.81m/s²

ηT = eficiencia Turbina Cross Flow: aprox. 84.0%

$$\text{Total} = 626 \text{ kW}$$

P = 313 kW / turbina (Se utilizarán 2 Turbinas) Sugerir

Esto corresponde a la potencia nominal de la PCH Rio Rama. Para obtener la potencia máxima en bornes de cada generador multiplicamos la potencia en el eje de una turbina por la eficiencia del engranaje (aprox. 97%) y eficiencia del generador (aprox. 92.5%):

$$P_b = P_t * \eta_{Engr} * \eta_{Gen}$$

$$P_b = 280.83 \text{ kW (c/ borne de generador)}$$

Para transformar la potencia en bornes del generador a fuerza eléctrica de kVA (kilo x Voltios x Amperios), dividimos la potencia P_b por el factor de potencia de la PCH (fp valor teórico = 0.8)

$$P_g = P_b : f_p$$

$$P_g = 351 \text{ kVA (nominal} = 360 \text{ kVA)}$$

Durante la época seca de los meses de marzo y abril el caudal disponible para generación podrá disminuir a aprox. 1 m³/s y en consecuencia la potencia de la PCH también podrá disminuir hasta min. unos 103 kW - eje turbina, 107 kVA bornes generador.

Si esta potencia no es suficiente para atender la demanda de los consumidores, la empresa operadora debe implementar medidas de racionamiento energético, como por ejemplo aplicar horarios especiales a los consumidores mayores,

prohibir el uso de planchas y otros artefactos de alto consumo de energía eléctrica, reducir la iluminación, racionar por sectores y otros.

El rendimiento económico de la PCH y del sistema eléctrico asociado de redes de distribución depende en menor grado también de los costos de operación y mantenimiento.

b) Estudio de Demanda

Los siguientes gráficos muestran los balances de demanda local y oferta de potencia en un día para el año 1 y 25, donde la potencia máxima es de 626 kW y se observa claramente que la PCH satisface completamente la demanda local proyectada.

Figura 9: Demanda máxima en el primer año

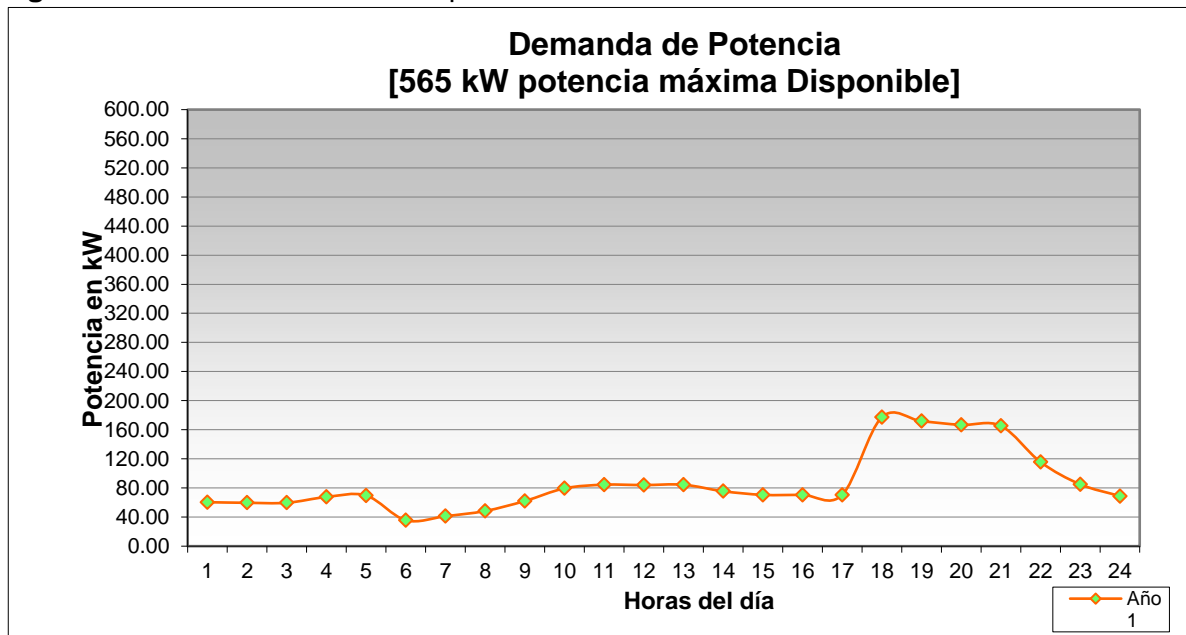
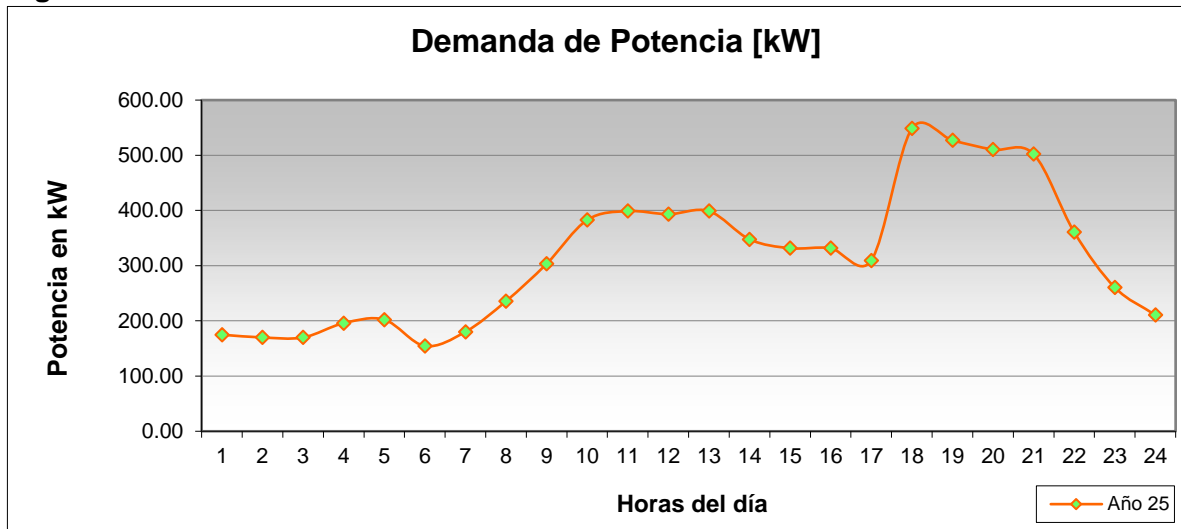


Figura 10: Demanda máxima en el año 25.



Las comunidades beneficiadas con la implementación de la PCH Rio Rama son: Muelle de los bueyes y poblaciones aledañas con 900 viviendas al momento del estudio.

El estudio de demanda de energía eléctrica para las localidades beneficiadas por el desarrollo de la PCH Rio Rama considera a tres grupos de consumidores potenciales: doméstico, comunitario, y sector productivo. Se espera que estos grupos presenten un crecimiento de demanda sostenido a lo largo de la vida útil de la PCH. El total de la demanda eléctrica por las localidades beneficiadas para el primer año se estima en 756,678 kWh, la cual se irá incrementando hasta llegar a los 2,718,673 kWh en el año 25.

De los resultados de este estudio se tiene que los beneficiarios del proyecto consumen actualmente un promedio alrededor de 54.37 kWh por mes para usos domésticos.

En el cuadro a continuación se puede observar la proyección del total de demanda local en kWh para cada 5 años, y el porcentaje que representa dentro de esta demanda total cada uno de los tres grupos de consumidores potenciales

Tabla 5: Demanda local por sectores

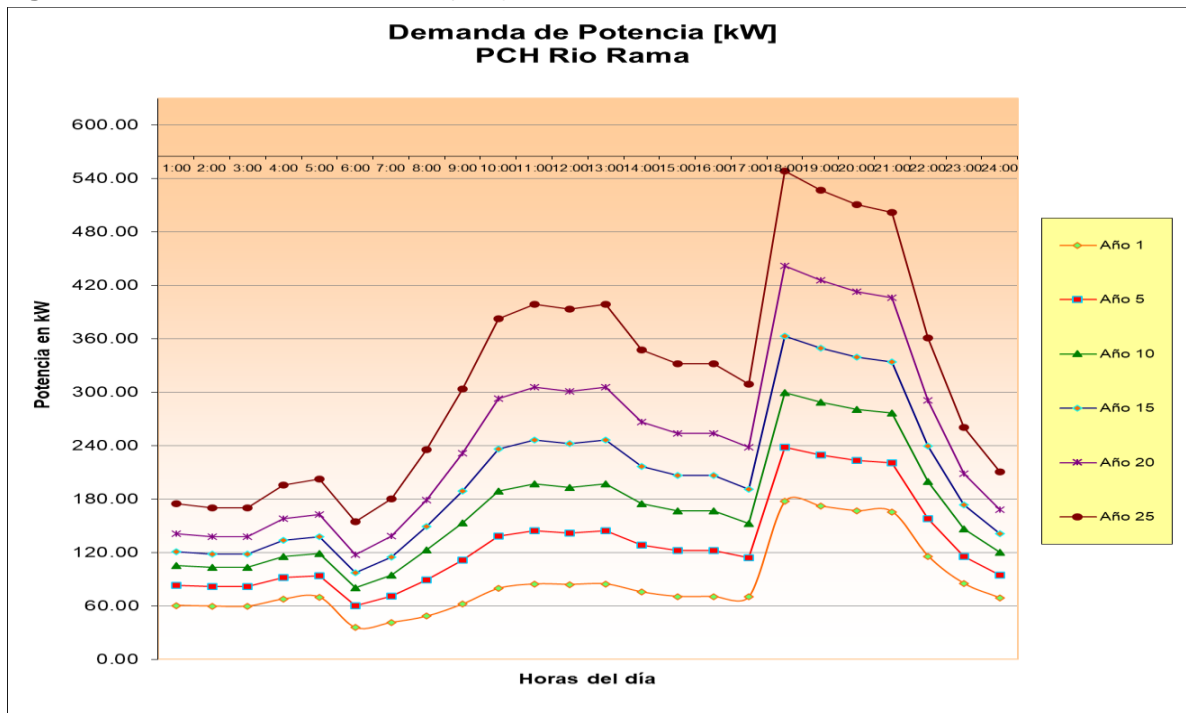
Demanda Potencial	1	5	10	15	20	25
Total Consumo kWh Anual	756,678	1,099,861	1,434,666	1,747,488	2,135,403	2,718,673
Demanda Doméstica	78.67%	71.14%	69.51%	72.93%	76.41%	76.86%
Demanda Comunitaria	13.59%	9.35%	7.98%	6.59%	6.00%	4.71%
Demanda del Sector Productivo	7.73%	19.51%	22.51%	20.47%	17.59%	18.43%

Además de la generación de energía para la satisfacer la demanda local de estos tres sectores (domestico, comunitario y productivo) la PCH Rio Rama también ofrece cierta cantidad del excedente de energía al Sistema Interconectado Nacional SIN, con la finalidad de tener una máxima optimización del recurso energético y dar mayor rentabilidad para la PCH Rio Rama como se podrá demostrar adelante.

Según el estudio de Demanda para las localidades, la potencia eléctrica máxima demandada en horas pico en el año 1 es de 145.59 kWh, mientras que para el año 25 se estima un valor de 436.35 kWh. Por otro lado, la potencia eléctrica mínima demandada en horas valle en el año 1 es de 31.06 kWh, mientras que para el año 25 se estima un valor de 116.70 kWh. La PCH Rio Rama cuenta con una potencia de generación total de 565 kW (bornes de generador), donde el excedente por la demanda local y la generación total es lo que se proveerá al SIN para la optimización del recurso con el que se cuenta.

En el gráfico a continuación se presenta el comportamiento de la demanda de potencia local de la PCH Rio Rama en un intervalo de cinco años

Figura 11: Demanda de Potencia (KW)



5.1 Estudio financiero

El Estudio Financiero organiza la información y establece técnicas para la evaluación del comportamiento operativo de la PCH, incorpora el diagnóstico de la situación actual y pronostica los eventos futuros que, en consecuencia, están orientados hacia la obtención de objetivos previamente definidos.

Con la elaboración del Estudio Financiero es posible demostrar el nivel de rentabilidad que resultaría de ejecutar el proyecto hidroeléctrico. Para establecerlo es necesario disponer de información relacionada con el presupuesto de costos y gastos, el costo de inversión inicial y el movimiento de los ingresos, datos obtenidos de la estructuración de los estudios anteriores.

Se deriva entonces que el principal objetivo de elaborar el presente estudio es construir la Prefactibilidad financiera y demostrar su viabilidad a través del ordenamiento y sistematización de la información de carácter monetario y de la

construcción de los cuadros de análisis que sirven de base para la Evaluación Financiera.

5.2 Análisis Financiero

Este análisis nos indicará la inversión para el desarrollo de la Pequeña Central Hidroeléctrica Rio Rama, además la capacidad instalada de generación (bornes de generador), desde el punto de vista estrictamente financiero, recomendable. Los indicadores de este análisis son el Valor Actual Neto (VAN), La Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación Costo Beneficio (B/C).

5.3 Indicadores

Valor Actual Neto (VAN): Es el método con el cual se puede determinar el valor del capital invertido al final del período de inversión, es el Valor actualizado de los flujos producidos por el proyecto de inversión. Este indicador es el más importante para la toma de decisión e indica si los resultados de esta inversión superan una inversión alternativa.

Para que el resultado del Valor Actual Neto se tome en consideración sobre la factibilidad del proyecto debe ser positivo, cualquier número con signo negativo como valor del VAN, nos indica que los ingresos por venta de energía, por venta de certificados CO₂ o por ingresos extraordinarios, no compensa al capital invertido mejor que una cuenta de ahorros.

Un VAN con signo negativo nos indica, que esta inversión no es desde el punto de vista económico y financiero conveniente.

Tasa Interna de Retorno (TIR): Es la tasa de actualización que hace que el VAN se iguale a cero. El resultado de este indicador lo debemos de comparar con las tasas de interés y descuento aplicadas sobre el proyecto, y su interpretación es la siguiente:

- $TIR = i$; Inversión es Indiferente
- $TIR > i$; Inversión es Aconsejable
- $TIR < i$; Inversión es Desaconsejable

donde i , representa a las tasas (descuento/ interés) aplicadas en el análisis.

Relación Costo Beneficio (B/C): Esta relación debe ser naturalmente mayor que uno. La suma de los beneficios dividida entre los costos asumidos indica cuantas veces ha aumentado la riqueza o el bienestar. Para interpretar este indicador debemos recordar que existen muchos beneficios indirectos que no se incluyen en esta formulación matemática, pero que representan beneficios tanto al sector doméstico como productivo de las comunidades consideradas en el estudio. Por tanto, se debe de considerar este indicador como una aproximación y no como una herramienta única de decisiones.

5.4 Datos Financieros del Proyecto

La información financiera del proyecto se compone por el cálculo de los ingresos y egresos, por medio de los cuales se obtiene el flujo de efectivo, con el que a su vez se calcula el flujo de efectivo neto.

Los Ingresos se encuentran dados por:

- Ingresos por venta de Energía (demanda local y red nacional)
- Ingresos por venta de certificados

Los egresos se encuentran dados por:

- Costos de Operación y Mantenimiento
- Depreciación
- Gastos Financieros

Capítulo 6. Resultados del estudio

6.1 La hidrología y los proyectos hidroeléctricos

Un aprovechamiento hidroeléctrico menor, en general está conformado por obras de captación, conducción, generación y transmisión de energía.

El estudio de un proyecto de aprovechamiento hidrológico debe necesariamente abarcar tres aspectos principales:

-
- a) Ingeniería básica
 - b) Evaluación económica-Financiera
 - c) Soluciones y diseños de obras

El primer punto significa el conocimiento detallado de los aspectos físicos que determinan la factibilidad técnica del aprovechamiento.

El segundo, tiene por objeto una evaluación del mercado eléctrico, los costos de producción y transmisión, el estudio de alternativas, la disponibilidad de financiamiento y la selección del esquema económicamente óptimo. En este análisis se deben tratar aspectos de orden social y ecológicos.

En el último punto es la aplicación de la técnica para la solución de los problemas encontrados, el diseño de las obras civiles y selección de los equipos de generación y transmisión necesarios para el proyecto a ejecutarse.

En este contexto, el estudio a desarrollarse es la evaluación económica – financiera del proyecto descrito, a partir de información suministrada de la zona por la alcaldía, donde se pretende analizar la opción b de los 3 aspectos sobre el aprovechamiento hidrológico, ya que la factibilidad técnica de un proyecto hidroeléctrico fundamentalmente se basa en las disponibilidades hídricas del mismo.

Capítulo 7. Inversión y Financiamiento

6.1 Monto de Inversión

El monto de Inversión requerido para el desarrollo de la PCH Rio Rama de 561.66 kW en bornes de generador es de US\$ 2,177,189. El detalle de esta inversión se presenta en la siguiente tabla, donde los componentes de la inversión son: Costos de Desarrollo, Equipos Electromecánicos, Tuberías de conducción, Obras Civiles, Montaje Electromecánico, Línea de conexión a la Red Muelle de los Bueyes – hacia la PCH, Líneas eléctricas, Mobiliario y Equipo de Oficina y Capital de Trabajo.

Tabla 6: Inversión total

INVERSIONES		
Costos de Desarrollo	\$18,000.00	0.83%
Equipos Electromecánicos	\$697,000.00	32.01%
Tuberías de Conducción	\$95,000.00	4.36%
Obras Civiles	\$689,620.53	31.67%
Montaje Electromecánico	\$80,000.00	3.67%
Línea de Conexión a la Red Muelle Real- La Esperanza	\$400,000.00	18.37%
Líneas Eléctricas	\$171,569.00	7.88%
Mobiliario y Equipo de Oficina	\$4,500.00	0.21%
Capital de Trabajo	\$21,499.49	0.99%
INVERSIÓN TOTAL	\$2,177,189.02	

Para encontrar el esquema tarifario a proponer, una primera referencia son las tarifas del área concesionada, actualmente en manos de DISNORTE y DISSUR. Las tarifas mostradas en la siguiente tabla, son aprobadas por el Instituto de Energía Eléctrica (INE).

Figura 12: Tarifas Energética

Fuente: Instituto Nicaragüense de Energía.

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ENERGÍA ENTE REGULADOR					
TARIFAS ACTUALIZADAS A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE OCTUBRE DE 2021					
AUTORIZADAS PARA LAS DISTRIBUIDORAS DISNORTE Y DISSUR					
BAJA TENSIÓN (120,240 y 480 V)					
	APLICACIÓN	TARIFA		CARGO POR	
		CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ENERGÍA (C\$/kWh)	POTENCIA (C\$/kW-mes)
RESIDENCIAL	Exclusivo para uso de casas de habitación urbanas y rurales	T-0	Primeros 25 kWh	2.3980	
			Siguientes 25 kWh	5.7360	
			Siguientes 50 kWh	6.0139	
			Siguientes 50 kWh	7.9937	
			Siguientes 350 kWh	8.1099	
			Siguientes 500 kWh	12.8811	
			Adicionales a 1000 kWh	14.6761	

De igual forma existe la recomendación de la Comisión Nacional de Energía de proponer tarifas que estén comprendidas entre los US\$ 0.15 y US\$ 0.20 dólares por kWh comercializado. Se utilizo 0.228 para tarifa demanda local y 0.11 tarifa venta red nacional.

Tabla 7: Informa para calculo de beneficios

INFORMACIÓN PARA CALCULO DE BENEFICIOS		
Descripción	Valor	
Tarifa de Energía para venta a la Red Nacional	0.11	USc/kWh
Potencia en Ejes de Turbina	626	kW
Potencia Máxima Entregada	562	kW
Caída Neta Aprovechada	17.66	Hn
Caudal	4.3	m ³ /s
Eficiencia aproximada del engranaje	97%	
Eficiencia aproximada del generador	92.5%	
TABLA DE CONVERSIÓN		MWh
Capacidad de Generación Anual de Energía para Venta	2.95	2,952

Figura 13: Variables de tarifas

VARIABLES	
	Parámetros
TARIFAS	
Tarifa a energía demandada en localidad	\$0.228
Tarifa de energía para venta a Red Nacional	\$0.110
Tarifa de venta de certificados Ton/CO ₂	\$0.00

6.2 Resultados financieros

Para fines de cálculo se define que el proyecto tendrá una vida útil de 25 años y, por lo tanto, todas las variables están proyectadas a este término.

La inversión en la PCH Rio Rama es de US\$ 2,177,189 y tendrá una potencia máxima de 626 kW en eje de turbina. Esto representa un costo de inversión total de 3,477.93 US\$/kW instalado, mientras el costo específico referido sin incluir el componente de las Líneas Eléctricas (líneas PCH y líneas interconexión) se encuentra en el orden de 3,203 US\$/kW instalado.

El monto de US\$ 2,177,189 incluye inversión en costos de desarrollo, equipos electromecánicos, tuberías de conducción, obras civiles, montaje electromecánico, líneas eléctricas, capital de trabajo, mobiliario de oficina y el costo de la línea de conexión a la red Muelle de los bueyes – hacia la PCH para la optimización del recurso.

El proyecto beneficiará inicialmente a unas 900 familias que, considerando la tasa de crecimiento poblacional de este municipio de 4.0%, se proyectan 1,851 familias a los 25 años de vida útil del proyecto. En este análisis Inter temporal los costos de inversión por familia son de US\$ 1,176 (año 25) y por habitante al año 25 de US\$ 196.

La fuente principal de financiamiento planteada es la del inversionista que representa el 55.12% de la inversión total dando una cifra de US\$ 1,200,172. Para el cálculo de los resultados financieros se consideró el monto del financiamiento y el capital propio como cifra para representar a la inversión inicial, esto con el propósito de demostrar la importancia que recae en el monto de donación como un subsidio a la inversión y su relación con la factibilidad de los resultados financieros.

En el análisis financiero de esta inversión se utilizó el Valor Actual Neto, la Tasa Interna de Retorno y la relación Costo Beneficio. Con la aplicación de una tasa de descuento del 12%, una tarifa de US\$ 0.228 para la energía demandada localmente y US\$ 0.11 para la provisión de energía a la Red Nacional los resultados financieros resultan viables y hacen factible el desarrollo del proyecto.

Hay que establecer que esta factibilidad es lograda únicamente si se da el monto de donación mencionado como subsidio a la inversión del proyecto y se procede a realizar la interconexión de la PCH Rio Rama al sistema eléctrico nacional, ya que con esto además de optimizar el recurso se aumenta la factibilidad económica y financiera de la PCH Rio Rama.

En el cuadro a continuación se presentan los resultados financieros aplicando los parámetros y condiciones detalladas anteriormente:

Figura 14: Variables y indicadores financieros

VARIABLES	
	Parámetros
TARIFAS	
Tarifa a energía demandada en localidad	\$0.228
Tarifa de energía para venta a Red Nacional	\$0.110
Tarifa de venta de certificados Ton/CO ₂	\$0.00
INFORMACIÓN FINANCIERA	
Tasa de Descuento	12.00%
Impuesto sobre la Renta IR	30.00%
Tasa de Interés	6.00%
Periodo de Análisis	25
Periodo de Pago	20
Periodo de Gracia	4
Préstamo	35.00%
APORTE Inversionista	\$1,200,173
Aporte de Gobierno	\$215,000
Préstamo	\$762,016
Inversión	-\$2,177,189
Variación Demanda	0.00%
INDICADORES FINANCIEROS	
	Nuevos Resultados
VAN	\$344,003
TIR	14.21%
B/C	1.28
Ingresos VAN	\$3,749,084
Egresos VAN	\$2,928,006

Tabla 8: Análisis de indicadores financieros del proyecto

Tabla de Resultados		0	1	4	7	10	15	20	25
Ingreso Bruto por Demanda de Energía en localidad			172,523	233,975	265,998	327,104	398,427	486,872	619,857
Ingreso Bruto por Venta a Red Nacional			241,505	211,858	196,408	166,927	132,516	89,846	25,686
valor residual			0	0	0	0	0	0	491,155
Ingresos Totales			414,028	445,832	462,406	494,031	530,944	576,718	1,136,699
Costos O&M			42,999	42,999	42,999	42,999	42,999	42,999	42,999
Depreciación			62,661	62,661	62,661	62,661	62,661	62,661	62,661
Gastos financieros			45,721	66,436	66,436	66,436	66,436	0	0
Costos Totales			151,381	172,096	172,096	172,096	172,096	105,660	105,660
Estado de Resultados			262,647	273,736	290,309	321,934	358,847	471,057	1,031,038
Flujo Efectivo antes IR			325,308	336,397	352,971	384,596	421,509	533,719	1,093,700
Impuesto sobre la Renta			0	0	105,891	115,379	126,453	160,116	328,110
Flujo Efectivo después IR		-2,177,189	325,308	336,397	247,079	269,217	295,056	373,603	765,590
Factor de Descuento		1.0000	0.8929	0.6355	0.4523	0.3220	0.1827	0.1037	0.0588
Flujo Efectivo Neto		-2,177,189	290,454	213,787	111,766	86,681	53,906	38,730	45,035
VAN		12.00%	\$344,003						
TIR			14.21%						
B/C			1.28						
Ingresos VAN			\$3,749,084						
Egresos VAN			\$2,928,006						

Según el resultado, el proyecto es rentable, ya que el VAN es mayor que cero. De igual manera la tasa TIR (Tasa interna de Retorno) es mayor que la tasa de descuento que es 12%, por lo tanto, desde este indicador es rentable también. Y por último la relación costo-beneficio es mayor que la unidad.

Conclusiones

El desarrollo de este proyecto, es interesante si se tiene en cuenta que no se necesita transportar la energía largas distancias, sino que permite generar directamente en sitio, aumentando la confiabilidad del suministro con buena calidad de regulación y disponibilidad para las condiciones de ausencia de energía eléctrica por parte del operador de red.

Sin embargo, el aporte más importante de la implementación la PCH es que es amigable con el medio ambiente, ya que no se generan residuos contaminantes en el aire, el agua o la tierra, no requiere la utilización de combustibles fósiles, logrando obtener un beneficio directo en la comunidad que habita esta zona, e impactando de forma positiva en la conservación de la flora y la fauna del entorno.

Como meta logramos describir los principales componentes de una pequeña central hidroeléctrica

Además, presentamos una visión general de las pequeñas centrales hidroeléctricas, de forma que el participante obtuvo un conocimiento de sus principales características, componentes básicos, funcionamiento.

Mediante la información recolectada logramos Cuantificar la oferta y demanda de energía eléctrica en la zona.

Se Realizo un estudio de evaluación financiera de la PCH a través de indicadores financieros de la VAN y TIR.

Bibliografía

1. OLADE. “Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas”. Una guía para el desarrollo de proyectos. Federico Coz, Teodoro Sánchez y Javier Ramírez Gastón. – Lima: ITDG, 1995.
2. ORTIZ Flores, Ramiro. Pequeñas centrales hidroeléctricas, McGraw Hill, 2001.
3. BID (Banco Interamericano de Desarrollo) – OLADE (Organización Latinoamericana de Energía). Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental de Centrales Hidroeléctricas.
4. Burstein, D. – Stasiowski, F. 1999. Administración de Proyectos. Editorial Trillas. México.185 p.
5. Sapag Chain, N. – Sapag Chaín, R. 2000. Preparación y Evaluación de Proyectos. Cuarta Edición. Editorial McGraw – Hill. Chile. 439 p.
6. MEM. Obtenido de http://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2017/03/P_Hidro_2017WEB_75dpi.jpg
7. Docplayer Obtenido de <https://docplayer.es/23744895-Pequeñas-centrales-hidroelectricas.html>
8. ENATREL. Obtenido de <https://www.enatrel.gob.ni/logros/>
9. CNDC Obtenido de http://www.cndc.org.ni/graficos/graficaGeneracion_Tipo_TReal.php
10. Organización Meteorológica Mundial . (2011). Guía de prácticas hidrológicas. OMM-No. 168 (Sexta ed., Vol. I). Ginebra.
11. Alvarado, E. 2017. Manual de medición de caudales. ICC. Guatemala.
12. Tecnologías de pequeña energía hidroeléctrica - Innovaciones europeas de vanguardia. Recuperado: https://www.hyposo.eu/HYPOSO_Publications/HYPOS_O_Handbook_Spanish_final.pdf
13. INE Obtenido de https://www.ine.gob.ni/DGE/tarifasdge/2021/10/baja_tension_1_octubre21.pdf
14. FUNDES Obtenido de https://funides.com/wp-content/uploads/2020/07/200724.-FUNIDES.-Mercado-El%C3%A9ctrico-en-Nicaragua.-SEE_2020_01.pdf

-
15. J. Hurtado Sampson y B. Pilarte Barahona.2016. “Formulación y evaluación de una pequeña central hidroeléctrica de 600kw en el rio Tuma” Universidad Nacional de Ingeniería.
 16. Fundacion naquae Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/que-es-la-energia-hidraulica/>
 17. Fornuclear Obtenido de <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-una-central-hidroelectrica/>
 18. Buena tarea Obtenido de <https://www.buenastareas.com/ensayos/Central-Hidroelectrica-Generalidades/72113806.html>
 19. Repository Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10444/Trabajo%20de%20grado%20Maestria%20Ailyn%20Casta%C3%B1eda.pdf?sequence=1>