



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrado

Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados

**FACTIBILIDAD DEL MONTAJE DE UNA PLANTA GENERADORA HIDRÁULICA MENOR A  
5MW EN UN INGENIO AZUCARERO**

**Ing. Jorge Alberto Cruz Cruz**

Asesorado por el MA. Ing. Byron de Jesús López Maldonado

Guatemala, julio de 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**FACTIBILIDAD DEL MONTAJE DE UNA PLANTA GENERADORA HIDRÁULICA MENOR A  
5MW EN UN INGENIO AZUCARERO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. JORGE ALBERTO CRUZ CRUZ**

ASESORADO POR EL MA. ING. BYRON DE JESÚS LÓPEZ MALDONADO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN GESTIÓN DE MERCADOS ELÉCTRICOS REGULADOS**

GUATEMALA, JULIO DE 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Maynor Godoy Arias
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **FACTIBILIDAD DEL MONTAJE DE UNA PLANTA GENERADORA HIDRÁULICA MENOR A 5MW EN UN INGENIO AZUCARERO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 20 de julio de 2020.

**Ing. Jorge Alberto Cruz Cruz**



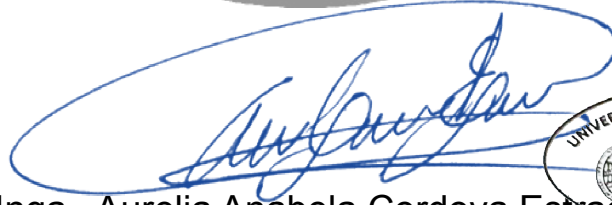


Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.532.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **FACTIBILIDAD DEL MONTAJE DE UNA PLANTA GENERADORA HIDRÁULICA MENOR A 5MW EN UN INGENIO AZUCARERO**, presentado por: **Jorge Alberto Cruz Cruz**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Gestión de mercados eléctricos regulados después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, julio de 2022

AACE/gaoc





**Guatemala, julio de 2022**

LNG.EEP.OI.532.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“FACTIBILIDAD DEL MONTAJE DE UNA PLANTA GENERADORA HIDRÁULICA MENOR A 5MW EN UN INGENIO AZUCARERO”**

presentado por **Jorge Alberto Cruz Cruz** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Gestión de mercados eléctricos regulados** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**







Guatemala, 03 de noviembre de 2020.

**M.Sc. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director Escuela de Estudios de Postgrado  
Presente


**M.Sc. Ingeniero Álvarez Cotí:**

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL** del trabajo de graduación titulado: **“FACTIBILIDAD DEL MONTAJE DE UNA PLANTA GENERADORA HIDRÁULICA MENOR A 5 MW EN UN INGENIO AZUCARERO”** del estudiante **Jorge Alberto Cruz Cruz** quien se identifica con número de carné 199810947 del programa de **Maestría en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,

  
**M.Sc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque**  
Coordinador  
Área de Desarrollo Socio Ambiental y Energético  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería USAC





Guatemala, 27 octubre 2020.

Ingeniero M.Sc.  
Edgar Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería USAC  
Ciudad Universitaria, Zona 12

**Distinguido Ingeniero Álvarez:**

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor de trabajo de graduación del estudiante Jorge Alberto Cruz Cruz, Carné número 199810947, cuyo título es "**FACTIBILIDAD DEL MONTAJE DE UNA PLANTA GENERADORA HIDRAULICA MENOR A 5MW EN UN INGENIO AZUCARERO**", para optar al grado académico de Maestro Artes en Gestión de Mercados Eléctricos Regulados, he procedido a la revisión del mismo.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Cruz Cruz, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



**Byron de Jesús López Maldonado**  
Ingeniero Químico  
Colegiado 1008

**Ing. Byron de Jesús López Maldonado.**  
M.A. Energía y Ambiente  
Asesor





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Mis padres</b>	Pedro Cruz y Angelina Cruz, porque han sido mi guía y apoyo.
<b>Mi esposa</b>	Brenda Gómez, por ser una importante influencia en mi carrera y en mi vida.
<b>Mis hijos</b>	Karla, Jorge y Javier Cruz, por ser motivo de inspiración y de esfuerzo para seguir adelante.
<b>Mis hermanos</b>	Por brindarme su apoyo y cariño que fueron base para mi formación personal.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de formarme académicamente y formar parte de tan prestigiosa casa de estudios.

**Facultad de Ingeniería**

Por darme la oportunidad de ser parte de un gremio de profesionales de prestigio y poder formarme como un profesional con fuertes cimientos en conocimiento.

**Ingenio Santa Ana**

Por brindarme la oportunidad de desarrollarme como profesional y llevar a cabo el presente trabajo de investigación.

**Compañeros de  
trabajo y amigos**

Al equipo de trabajo de ingenio Santa Ana en especial al Departamento de Cogeneración, colegas, grandes compañeros y personas.

**Mi asesor**

MA. Ing. Byron López, por compartir sus conocimientos y el apoyo para el desarrollo del presente trabajo de investigación.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIII
OBJETIVOS .....	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO .....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1. Estudios previos .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Industria azucarera en Guatemala.....	5
2.1.1. Proceso de producción de azúcar y sus subproductos. ....	6
2.1.1.1. Proceso de producción de azúcar .....	7
2.1.1.2. Subproductos de la elaboración de azúcar .....	9
2.1.2. Recursos utilizados en el proceso de fabricación de azúcar .....	9
2.1.2.1. Recursos para producción de azúcar ...	10
2.1.3. La energía eléctrica como recurso del proceso productivo de azúcar.....	10

2.1.4.	El recurso hidráulico como base importante para el proceso productivo de azúcar .....	11
2.1.5.	La cogeneración a partir de biomasa (bagazo de caña) .....	12
2.1.6.	La incursión de los ingenios en la generación y su aporte a la matriz energética nacional .....	13
2.2.	Matriz energética nacional.....	14
2.2.1.	Tipos de generación de energía eléctrica en Guatemala.....	16
2.2.2.	Energías renovables.....	17
2.2.3.	Generación hidroeléctrica en Guatemala.....	18
2.3.	Pequeñas centrales hidroeléctricas .....	19
2.3.1.	Características técnicas de pequeñas centrales hidroeléctricas. ....	19
2.3.2.	Tipos de turbinas hidráulicas .....	21
2.3.3.	Selección del tipo de tecnología (tipo de turbina) ...	21
2.4.	Generación distribuida renovable .....	22
2.4.1.	Usuarios autoprodutores con excedentes de energía .....	23
2.4.2.	Generadores distribuidos renovables .....	23
2.5.	Evaluación de proyectos .....	24
2.5.1.	Factibilidad de proyecto o anteproyecto .....	24
2.5.2.	Estudio técnico .....	25
2.5.3.	Estudio económico .....	25
3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....	27
3.1.	Factibilidad técnica del proyecto .....	27
3.1.1.	Estudio de la cuenca .....	27
3.1.2.	Estudio topográfico.....	29

3.1.3.	Obra civil (presa).....	31
3.1.4.	Medición de caudal disponible .....	33
3.2.	Selección y diseño de equipos .....	36
3.2.1.	Selección del tipo de turbina .....	36
3.2.2.	Diseño y capacidad de turbina .....	37
3.3.	Factibilidad económica del proyecto .....	38
3.3.1.	Costos de inversión de proyecto .....	39
3.3.2.	Consumo de energía en período de no zafra .....	39
3.3.3.	Costo del consumo de energía en período de no zafra.....	39
3.3.4.	Análisis financiero del proyecto.....	40
3.3.5.	Análisis del valor actual neto del proyecto (VAN) ....	40
3.3.6.	Análisis de la tasa interna de retorno del proyecto (TIR) .....	41
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	43
4.1.	Se determina la capacidad hídrica disponible (aprovechable).....	43
4.2.	Se determina el tipo de turbina y potencia a instalar y poder aprovechar eficientemente el recurso hídrico.....	44
4.3.	El análisis técnico-económico, para determinar la factibilidad económica del proyecto .....	46
4.4.	Los resultados de la investigación determinan que se cuenta con la factibilidad para el desarrollo del proyecto.....	47
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	49
5.1.	Capacidad hídrica disponible .....	49
5.2.	Tipo de turbina a utilizar para optimizar el recurso hídrico disponible .....	50

5.3.	Análisis técnico-económico .....	51
5.4.	Determinación de factibilidad del proyecto .....	52
CONCLUSIONES .....		55
RECOMENDACIONES .....		57
REFERENCIAS.....		59
APÉNDICES .....		63



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Proceso de producción de azúcar .....	8
2.	Matriz energética de Guatemala .....	17
3.	Central generadora hidroeléctrica .....	18
4.	Cuadro de acción y selección de turbinas hidráulicas .....	22
5.	Plano de levantamiento topográfico de la cuenca .....	28
6.	Plano de levantamiento topográfico de emplazamiento .....	30
7.	Plano de levantamiento topográfico de afluente del río Guacalate .....	32
8.	Placa ID flujómetro .....	33
9.	Canal perfil rectangular de concreto .....	34
10.	Hidrograma para el período medido .....	36
11.	Cuadro de acción de turbinas hidráulicas.....	37
12.	Diseño gráfico de simulación de flujo en caracol de turbina Francis.....	45
13.	Curva de eficiencia y potencial de generación ofertada .....	46
14.	Trazo de campo de aplicación de turbinas hidráulicas .....	50

### TABLAS

I.	Mediciones de caudal en período de zafra 2015-2016, zafra 2016-2017 y zafra 2017-2018 .....	35
II.	Cálculo de eficiencia y potencial de generación .....	38
III.	Eficiencia y potencial de generación ofertada .....	45
IV.	Cantidad y costo de energía eléctrica consumida .....	47
V.	Proyección TIR y VAN.....	53



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Carga bruta (metros)
h	Carga neta (metros)
Q	Caudal
I	Corriente
$\rho$	Densidad en kg/m <sup>3</sup>
$\eta$	Eficiencia expresada en porcentaje
g	Gravedad expresada en m/s <sup>2</sup>
%	Porcentaje
P	Potencia
$\Sigma$	Sumatoria
V	Voltaje



## GLOSARIO

<b>AMM</b>	Administrador del Mercado Mayorista.
<b>ASAZGUA</b>	Asociación de Azucareros de Guatemala.
<b>Bagazo</b>	Biomasa en forma de fibra leñosa, residuo del proceso de la extracción y molienda de la caña.
<b>Cachaza</b>	Residuo o subproducto del proceso de clarificación o purificación del jugo de la caña.
<b>Carga</b>	Diferencia de altura o niveles entre la toma del afluente hasta la sala de máquinas de una unidad generadora hidráulica.
<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
<b>Cogeneración</b>	Proceso de producción de un subproducto como resultado de un proceso productivo.
<b>EEGSA</b>	Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima.
<b>INDE</b>	Instituto Nacional de Electrificación.
<b>Kilowatts</b>	Dimensional de potencia en sistema métrico equivalente a 1,000 watts.

<b>Megawatts</b>	Dimensional de potencia en sistema métrico equivalente a 1,000 kilowatts.
<b>MEM</b>	Ministerio de Energía y Minas.
<b>OLADE</b>	Organización Latinoamericana de Energía.
<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno.
<b>VAN</b>	Valor actual neto.
<b>WACC</b>	Estructura de capital óptimo o costo promedio ponderado de capital.
<b>Zafra</b>	Período de cosecha y producción de azúcar en los ingenios azucareros.

## RESUMEN

Para los ingenios azucareros el uso eficiente de la energía es un factor importante dentro de sus procesos productivos, siendo la energía eléctrica uno de los más importantes para los procesos industriales, así como el uso de agua de afluentes existentes, los cuales se utilizan en la elaboración de azúcar para sistemas de limpieza, enfriamiento y condensación.

Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo de investigación, fue determinar la factibilidad técnica y económica para el montaje de una planta de generación hidroeléctrica menor a 5 MW en un ingenio azucarero, tomando en cuenta la disponibilidad de recursos hidráulicos y la capacidad de poder aprovecharlos para poder generar energía eléctrica, desplazando con esta el consumo de energía eléctrica de la red, disminuyendo los costos de operación y mantenimiento por el ahorro en el consumo de energía.

Para poder desarrollar el presente estudio, en la investigación de campo se recolectaron los datos históricos promedio del recurso hidráulico utilizado por el ingenio, midiendo los flujos del afluente entrando a la empresa, y con estos valores calcular el potencial de generación de energía eléctrica.

Se obtuvieron los datos históricos de consumo de energía eléctrica en el ingenio y se calcularon los costos que estos representan, además se hicieron estudios técnicos para la instalación de la planta y estudios económicos obteniendo los costos de los equipos eléctricos, mecánicos y los trabajos de obra civil, para poder determinar la inversión total y la factibilidad económica del proyecto.

Los estudios técnicos y económicos determinaron que la instalación de la planta de generación hidroeléctrica menor a 5 MW, utilizando los recursos hidráulicos disponibles para el ingenio es viable técnica y económicamente. Se recomendó al ingenio azucarero objeto de estudio, invertir en el proyecto de instalación de la planta de generación hidroeléctrica para poder reducir sus costos por consumo de energía eléctrica en sus procesos de operación y mantenimiento.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Contexto general

El presente trabajo de investigación radica, en la necesidad de aprovechar el recurso hidráulico de un ingenio azucarero para generar energía eléctrica, durante el período no productivo (no zafra) y poder reducir los costos de operación y mantenimiento del ingenio. Este es el punto de partida para poder plantear y hacer el estudio de factibilidad para el montaje de una planta generadora hidráulica menor a 5 MW, aprovechando con esto los recursos hidráulicos y recursos físicos ya instalados dentro de las propiedades del ingenio. El ingenio cuenta como parte su proceso productivo el uso de un afluente, del cual se toma cierta cantidad de agua, se consideró pertinente evaluar las características físicas y técnicas del caudal utilizado, para poder aprovechar este y optimizar su uso para generar energía eléctrica.

Considerando que nos encontramos en un mercado global competitivo, las empresas se ven obligadas a hacer más eficientes sus procesos optimizando sus recursos, bajo la política de mejora buscando disminuir el uso de recursos y volviendo autosustentable sus procesos. Este es el punto de partida para considerar la generación de energía eléctrica a través de recursos renovables, disminuyendo con esto el costo del consumo de energía eléctrica de la red del sistema nacional interconectado, reduciendo de esta manera los costos de operación, incluso teniendo la opción de inyectar energía al sistema declarándose un usuario autoprodutor con excedente de energía (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2016).

- Descripción del problema

Durante el período no zafra del ingenio, se realizan las actividades de mantenimiento de las instalaciones del área industrial, debido al uso de una gran cantidad de herramientas y equipos, (máquinas de soldar, herramientas, iluminación, equipos de oficina, aires acondicionados, entre otros), para las diferentes actividades de mantenimiento, se tiene un consumo alto de energía eléctrica, el cual se encuentra entre los 1,000 kilowatts\*hora a 1,700 kilowatts\*hora, se pretende que con la generación hidráulica, se pueda cubrir parcialmente o totalmente la demanda de energía eléctrica y con esto disminuir los costos de operación durante el período de mantenimiento del ingenio.

- Delimitación del problema

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de un ingenio azucarero, ubicado en el municipio de Masagua, del departamento de Escuintla, Guatemala, durante el período productivo (zafra), que comprende de la segunda semana del mes de noviembre del presente año 2019 a finales del mes de abril del año siguiente 2020, y el período no productivo (no zafra) que comprende de la primera semana del mes de mayo de 2020 hasta finales del mes de octubre del mismo año.

- Determinación del problema

Durante el período productivo, el ingenio cuenta con el proceso de cogeneración de energía eléctrica, con lo cual cubre la demanda propia de los equipos de producción y sus equipos auxiliares, quedando incluso una cantidad de energía eléctrica para aportar a la red eléctrica nacional, pero durante el período no productivo el ingenio no cogenera y por tal motivo se ve en la

necesidad de consumir energía del sistema nacional interconectado, por tal motivo para poder cumplir con los programas y los planes de mantenimiento el ingenio consume energía entre 1,000 kilowatts\*hora a 1,700 kilowatts\*hora.

- Pregunta principal
  - ¿Es factible técnica y económicamente el aprovechamiento del recurso hidráulico de un ingenio para generación de energía eléctrica, durante el período no productivo (no zafra)?
  
- Preguntas auxiliares
  - ¿Con que condiciones hidráulicas, caudal y carga se cuenta para poder aprovechar?
  
  - ¿Qué tipo de turbina y equipos son los óptimos para instalar según características de topografía y recurso hidráulico?
  
  - ¿Qué estudios o análisis deberán de considerarse para determinar la factibilidad del proyecto?



## OBJETIVOS

- General

Determinar la factibilidad técnico-económica del montaje de una planta generadora hidráulica menor a 5 MW en un ingenio azucarero.

- Específicos

- Determinar la capacidad de recurso hidráulico disponible.
- Determinar tipo de turbina y tecnología para instalar y poder aprovechar eficientemente el recurso hidráulico.
- Presentar el análisis técnico-económico, financiero para determinar la factibilidad económica del proyecto.



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

- Diseño de la investigación

El presente trabajo de investigación se desarrolló utilizando técnicas y métodos, recopilando información de las condiciones hidroenergéticas de los recursos disponibles dentro del ingenio y su emplazamiento. También se hizo un análisis de los datos de mercado, los costos de inversión en equipos e infraestructura, se determinaron los costos de inversión inicial, además se analizaron los datos históricos de precios de la energía del mercado de oportunidad, se determinó el período de recuperación de la inversión haciendo un análisis económico con indicadores de rentabilidad para determinar la factibilidad del proyecto.

- Tipo de estudio

De acuerdo con el tipo de investigación, se desarrolló del tipo no experimental, con alcance descriptivo, cuantitativo, ya que se presenta el estudio de factibilidad para un proyecto de inversión, basado en datos recolectados dentro de las instalaciones y recursos disponibles, los precios de los equipos para determinar el monto de inversión inicial y el precio de la energía en el mercado de oportunidad.

Las variables principales de análisis son:

- Caudal disponible
- Carga

- Tipo de tecnología
  - Precios de la energía y
  - Costos de inversión.
- Fases de la investigación

Las fases que se llevaron a cabo para desarrollar la investigación fueron las siguientes:

- Revisión teórica documental

En esta fase se obtuvo la información de fuentes bibliográficas, del campo de la generación, de pequeñas centrales de generación hidroeléctrica, proyectos de generación distribuida, estudios de factibilidad de proyectos y otros estudios realizados en artículos científicos relacionados, publicaciones, informes y la normativa que rige este tipo de proyectos a nivel nacional.

- Gestión o recolección de datos

Se realizó el trabajo de campo, la recopilación de datos técnicos y de mercado para poder plasmarlos, ordenarlos y analizar la factibilidad técnica y económica del proyecto de generación hidroeléctrica, diseñado para el ingenio azucarero.

- Análisis de datos y diseño de proyecto

En este punto se realizó el análisis de datos técnicos del emplazamiento y recursos, para el diseño de los equipos e instalaciones, se recibió asesoría de una empresa especialista que se dedica al diseño, fabricación y comercialización



de turbinas hidráulicas y equipos para la generación hidroeléctrica, apoyándose con la tecnología e información técnica para la determinación y selección de equipos, optimizando el recurso hidráulico considerando las características del afluente (caudal y carga).

- Análisis económico

En esta fase se lleva a cabo el análisis de datos económicos del proyecto, utilizando herramientas de análisis de rentabilidad de proyectos como la tasa interna de retorno y la estimación del valor actual neto del proyecto. Se utilizan los datos económicos, montos de capital de inversión, costo de la energía del mercado *spot* en el mercado nacional.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo consistió en la realización del estudio de factibilidad para el montaje de una planta generadora hidroeléctrica menor a 5 megawatts en un ingenio azucarero, con dicho estudio se determinó la factibilidad técnica y económica del proyecto, para desarrollarse en las instalaciones del ingenio.

En el trabajo de investigación, se aborda el análisis de los recursos con que cuenta el ingenio, sus procesos y recursos para la operación y producción de azúcar. Se aplicarán las técnicas de recolección de datos en campo para poder determinar la capacidad hidráulica, topografía del afluente para determinar la carga, datos técnicos del caudal y determinará la tecnología óptima a instalar para poder turbinar y generar energía eléctrica. Además, se realizará el estudio financiero del proyecto, análisis de costos, determinación del capital de inversión y el período de recuperación de la inversión, para poder determinar la factibilidad financiera del proyecto.

El problema que se pretende abordar es el alto consumo de energía eléctrica que se tiene en el ingenio durante el período no productivo (no zafra). Durante el período de no zafra se tiene un consumo alto de energía eléctrica, de aproximadamente 1,700 kilowatts\*hora, el cual genera un costo alto dentro de los gastos de operación durante el período no productivo, que es cuando se realiza el mantenimiento del total de equipos del ingenio. Se espera que con la energía eléctrica generada por la planta hidroeléctrica se abastezca en su totalidad o parcialmente el consumo de energía eléctrica del ingenio, así poder dejar de consumir del sistema nacional interconectado, viéndose reflejado en la disminución del costo de mantenimiento por consumo de energía eléctrica.

El estudio consta de 5 capítulos: en el capítulo 1, se hace una recopilación de algunos estudios que se han realizado recientemente, teniendo como base la generación hidroeléctrica en pequeñas plantas generadoras, estudios de proyecto, indicadores de rentabilidad y estudios técnicos económicos de la generación distribuida renovable.

En el capítulo 2, se presenta una introducción de la industria azucarera, sus procesos, servicios y recursos como insumos, los subproductos como la cogeneración. Se aborda el tema de la generación hidroeléctrica y la matriz eléctrica de Guatemala, la generación distribuida renovable y la evaluación de proyectos.

En el capítulo 3, el desarrollo de la investigación de campo, se detalla el proceso de recopilación de la información, para realizar el análisis que sirve para determinar la factibilidad técnica y económica del proyecto.

En el capítulo 4, se presentan los resultados con la información de campo recolectada para el proyecto, se incluyen los datos técnicos de diseño de la planta y económicos con los que se harán los análisis para desarrollar la discusión de los resultados.

En el capítulo 5, se realizó el análisis técnico donde se determinó la capacidad de generación, análisis económico y financiero de la inversión, aportando las conclusiones, definiendo los montos de la inversión, el período de capitalización y recuperación de la inversión, desarrollando el análisis financiero con los indicadores TIR y VAN.

# 1. MARCO REFERENCIAL

## 1.1. Estudios previos

- Estudios de sistemas de generación distribuida

La generación distribuida cubre diversos usos y ventajas, dentro de las cuales se tiene: ventajas técnicas, económicas y ambientales, derivado que estas pueden satisfacer significativamente el consumo energético, con el uso y explotación de la energía renovable y tecnologías de ahorro.

La generación distribuida renovable se enfoca en el uso integrado de pequeñas fuentes de energía con pequeñas unidades de generación, unidades ubicadas en el interior de las instalaciones del usuario o directamente conectadas al circuito de distribución, ya que las fuentes necesitan ser conectadas a las redes de distribución y al punto más cercano de su generación, el sistema eléctrico convencional ha cambiado sus características en lo concerniente a la estructura y aprovechamiento operacional. (Bustamante, 2013, p. 1)

- Análisis legal de la generación distribuida de energía eléctrica en Costa Rica

También Rincón (2016) en su tesis de graduación titulada, *Análisis legal de la generación distribuida de energía eléctrica* comenta que:

Debido al enorme potencial que posee la generación de electricidad de forma distribuida, es necesario comprender tanto su funcionamiento como

la forma en que se encuentra regulada, para identificar y resolver las brechas con los cuales cuenta esta normativa y, de tal forma sacarle el mayor provecho posible a los diversos beneficios que posee esta herramienta. (p. VI)

Considerando que la regulación del sector eléctrico guatemalteco se encuentra en su etapa de madurez y considerando el alto potencial de generación con múltiples fuentes hidráulicas distribuidas dentro del territorio nacional, con las directrices de gobierno por medio del Ministerio de Energía y Minas (MEM) y su ente técnico la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), quien es el encargado de emitir la normativa técnica, que se definen para promover el desarrollo de la generación distribuida con fuentes renovables.

- Etapas para el desarrollo de proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas: contexto y criterio básico de implementación

Un gran reto que presenta el sistema nacional interconectado en Guatemala es asegurar la calidad y la cobertura del servicio de la electricidad en las regiones que no se encuentran interconectadas; por tal motivo como políticas de gobierno se han creado las condiciones para promover la generación distribuida con centrales aisladas que puedan suplir los requerimientos energéticos y poder mejorar las condiciones, nivel de vida de todos los guatemaltecos.

Tomando en cuenta lo anterior, los gobiernos están impulsando y promoviendo tecnologías alternas para la producción de energía solar, eólica y las pequeñas centrales de generación hidroeléctricas, a través de la creación de la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de generación con fuentes de energía renovable y la normativa para la generación distribuida renovable. Se proponen las fases y estudios de

ingeniería que se deberán seguir para lograr exitosamente la construcción de proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas y se determinan los resultados del análisis realizado. (Morales, 2014, p. 178)

- Indicadores de rentabilidad de proyectos

La evaluación de proyectos de generación a través de recursos renovables se realiza por medio de diversas herramientas o métodos de análisis, dentro de los que se pueden realizar proyecciones basadas en:

- Precio de la energía.
- Flujo de caja.
- Los precios de los contratos bilaterales reportados en el mercado.

Valencia (2011) en su artículo *Indicadores de rentabilidad de proyectos*, indica que:

Para la evaluación de proyectos se utilizan herramientas o indicadores de rentabilidad como son el VAN (valor actual neto) y TIR (tasa interna de retorno), estas herramientas son de uso netamente financiera con lo cual se puede medir los beneficios de la inversión desde una perspectiva económica, para ello se realiza una estimación de los posibles ingresos y precios en un período definido, la comparación de estos valores generan una serie de parámetros que presentan la rentabilidad y definen las ventajas de llevar a cabo el proyecto. (p.15)

En el estudio de proyectos para inversión, se tiene por objetivo conocer el grado de rendimiento económico y beneficio social, de manera que asegure solventar una carencia de la población a quien va dirigido el proyecto en forma

eficiente y optimizando recursos, de forma segura y rentable. Sólo de esta manera es posible asignar los recursos económicos y la mejor alternativa.

- Estudio técnico-económico sobre la implementación de generación distribuida en el sistema eléctrico ecuatoriano

Yadaicela (2011) en su tesis de graduación indica que:

Las grandes centrales hidroeléctricas se ven beneficiadas por las economías de escala, lo que se refleja en centrales con altas capacidades instaladas a bajos costos unitarios, sin embargo, a las mismas se deben adicionar los costos de transmisión por lo que sus beneficios podrían ser menos evidentes en algunos casos.

La generación distribuida posee altos costos de inversión, pero no requieren del costo adicional de transmisión, o en generación cercana a la carga el mismo puede ser menor, lo que en ciertos casos podría traducirse en costos muy competitivos para las grandes centrales de generación. De acuerdo con estas premisas, los aspectos fundamentales a considerarse en la evaluación económica se resumen en los tradicionales para la evaluación de proyectos eléctricos; costos de capacidad (potencia y energía). (p. 140-144)



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Industria azucarera en Guatemala**

La industria del azúcar de Guatemala tiene sus inicios en el siglo XVII, se comenzó a cultivar caña en Guatemala en el año de 1,536, los trapiches que inicialmente se construyeron en Guatemala, fueron construidos en el valle central de esta ciudad y a la vez en el departamento de Baja Verapaz, en el valle de Salamá durante el siglo XVI.

“En el siglo XVII se dio un incremento en el número de trapiches, pero a mediados del siglo XIX, Guatemala comenzó a exportar una pequeña cantidad de azúcar”. (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, 2012, p. VIII)

En 1,957 fue fundada la Asociación de Azucareros de Guatemala (ASAZGUA), con el fin de resolver problemas en la elaboración de azúcar y desarrollar programas para fomentar la mejora, tecnificar y hacer eficiente la industria azucarera del país, en 1960, Guatemala recibe su primera cuota para exportar azúcar hacia Estados Unidos, fue de esa manera como la industria del azúcar de Guatemala cambió de ser una industria de comercialización local, convirtiéndose en una industria de exportación y pasó a formar parte de las actividades agrícolas industrializadas más importantes para el país. (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar, 2012, p. VIII)

La industria azucarera en Guatemala es una de las más productivas en la región, en los inicios de la ampliación del subsector eléctrico y apertura de sus puertas a la inversión privada, estos fueron parte de los pioneros a participar y aportar en el crecimiento y abastecimiento de energía eléctrica al sistema nacional interconectado, debido a que estos contaban con infraestructura y recursos para su explotación como parte de su proceso productivo.

“La agroindustria Azucarera de Guatemala se ha ubicado como el tercer exportador más importante de Latinoamérica después de Brasil y Cuba y dentro de los ocho exportadores mayores del mundo” (Perez y Lawrence, 1997, p. 2).

### **2.1.1. Proceso de producción de azúcar y sus subproductos**

La producción de azúcar da inicio en los trabajos para la preparación del suelo, se realiza la siembra y posteriormente la cosecha de la caña, es en esta etapa bajo las condiciones climatológicas (fotosíntesis), cantidad y tipo de nutrientes en el suelo y las atenciones o cuidados que se den al cultivo se verán reflejados en la calidad de la caña y la cantidad de azúcar (sacarosa) contenida en la caña. En Guatemala el período de cosecha de la caña (período de zafra) comprende del mes de noviembre de cada año, hasta el mes de mayo del siguiente año aproximadamente, durante el período de zafra se realiza la extracción y transformación de la sacarosa o comúnmente llamada azúcar de la caña.

El proceso de extracción y recuperación del azúcar dentro de las instalaciones del ingenio, inicia con la recepción de la caña en grandes contenedores metálicos acondicionados para su transporte, seguro y eficiente, conocidos como jaulas, haciéndola pasar por básculas donde se pesa para poder cuantificar la cantidad de caña recibida en un período determinado y así medir el

ritmo de molienda diaria, que es uno de los indicadores principales que se manejan dentro de la industria azucarera nacional, con esto se determina la capacidad del proceso de cada ingenio y a su vez determinar el tamaño o capacidad de producción.

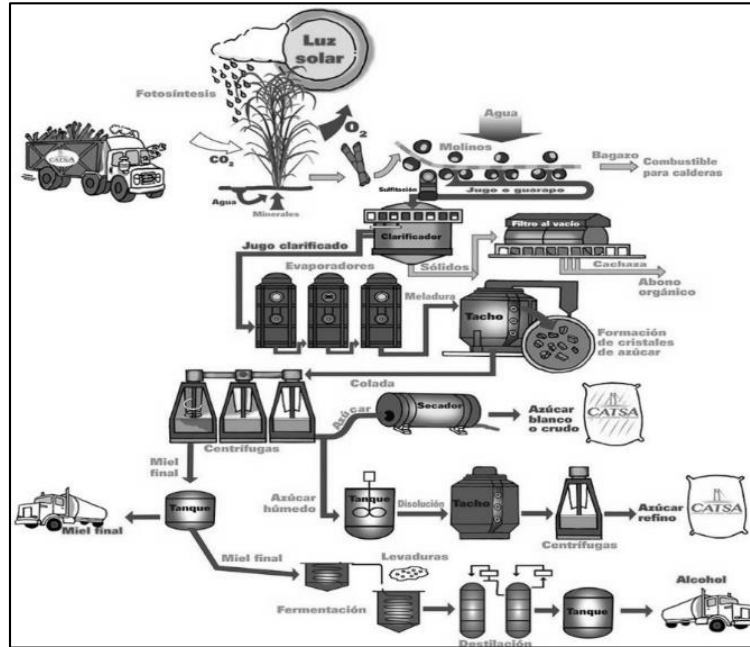
Se puede describir el proceso de fabricación de azúcar como comúnmente se conoce, al proceso industrial de elaboración de azúcar en 8 grandes etapas principales, como se ilustra en la figura 1.

#### **2.1.1.1. Proceso de producción de azúcar**

- Recepción de caña.
- Lavado de caña (limpieza de materiales extraños).
- Preparación de caña (picado o desfibrado).
- Extracción (molinos).
- Clarificación de jugo.
- Evaporación.
- Cristalización (concentración de sacarosa y formación de cristal de azúcar).
- Centrifugado (separación del cristal de azúcar de las mieles).

Cada una de las etapas listada anteriormente lleva una serie de procedimientos complejos, los cuales implican, cálculos y diseños de ingeniería.

Figura 1. Proceso de producción de azúcar



Fuente: CATSA, Central Azucarera Tempisque S.A. (2019). *Fabricación del azúcar*. Consultado el 11 de octubre de 2019. Recuperado de <https://www.catsa.net/como-trabajamos/area-industrial/fabricacion-del-azucar/>.

Los subproductos obtenidos de la fabricación de azúcar son diversos, estos subproductos debido a los avances tecnológicos y estudios realizados por el sector azucarero a nivel mundial se han sabido aprovechar, optimizando de esta manera los recursos y disminuyendo los efectos adversos al ambiente.

Desde la utilización y aprovechamiento del bagazo de la caña, producto del proceso de molienda y la extracción, este subproducto tiene una cantidad de energía calorífica que es usada como combustible en calderas para la generación de vapor, donde este vapor es aprovechado para la producción de electricidad, evaporadores y cristalizadores. (Chen, 1991, p. 18)

El producto conocido como cachaza para producir llamado *compost*, para la fertilización del suelo y la cogeneración para el abastecimiento de los procesos de la fábrica.

Como subproductos podemos listar los siguientes:

#### **2.1.1.2. Subproductos de la elaboración de azúcar**

- Bagazo de caña (biomasa)
- Cachaza
- Miel final
- Vapor de agua
- Energía eléctrica
- Alcohol
- Gas metano

#### **2.1.2. Recursos utilizados en el proceso de fabricación de azúcar**

Cuando hablamos de recursos, podemos decir que es una serie de elementos disponibles que pretenden cubrir las necesidades de una persona o grupo de personas. Los recursos utilizados para producir azúcar son diversos, como todo proceso de producción para poder producir un bien o servicio se tienen insumos.

La fabricación de azúcar tiene como recursos muy importantes el uso de la energía eléctrica y agua.

### **2.1.2.1. Recursos para producción de azúcar**

- Energía eléctrica
- Agua
- Aire comprimido
- Productos químicos
- Vapor
- Lubricantes

### **2.1.3. La energía eléctrica como recurso del proceso productivo de azúcar**

Como toda industria, la agroindustria en especial los ingenios utilizan energía eléctrica en grandes proporciones.

Hoy en día la energía eléctrica se ha convertido en los países desarrollados una forma imprescindible de energía y con una gran cantidad de usos, aplicaciones y beneficios, debido a su gran versatilidad, controlabilidad e inmediatez en su utilización y a la limpieza en el punto de consumo. En el ámbito residencial se emplea para proporcionar toda clase de servicios, desde los básicos hasta a los asociados al ocio y a un sinnúmero de comodidades, el uso de la electricidad está extendido en los ámbitos comercial a industrial; alumbrado, climatización, motores eléctricos con multitud de aplicaciones en industrias con una utilización específica e intensiva de la energía eléctrica. (Pérez y Rivier, 2002, p. 198)

Para los ingenios azucareros en Guatemala, la electrificación ha sido uno de los avances tecnológicos más importantes que ha tenido, debido al uso en grandes cantidades de energía que se necesita para su proceso, en su aplicación

como fuerza motriz, para los movimientos y transmisión de potencia a los equipos con que se procesa la caña.

Dependiendo del nivel de electrificación que se haya alcanzado en los procesos, este puede rondar los 26 kw\*h/TC (26 kilowatts\*hora por cada tonelada de caña procesada).

Para un ingenio con un ritmo de molienda de 775 toneladas de caña en una hora se puede calcular la alta demanda energía de este ingenio.

$(26 \text{ kw}^*\text{h}/\text{TC}) * (775 \text{ TC}) = 20,150 \text{ kw}^*\text{h}$ , siendo esto 20.150MW\*h consumida. Los datos operados muestran un estimado para un ingenio con un ritmo de 18,600 toneladas de caña molida diariamente.

#### **2.1.4. El recurso hidráulico como base importante para el proceso productivo de azúcar**

El agua es un insumo de consumo vital para la humanidad, así como para los procesos agrícolas e industriales, esta se encuentra disponible en el ambiente como fuente superficial o subterránea y se pueden aprovechar para satisfacer la demanda en sus diferentes usos.

Como fuentes superficiales cuentan con: los ríos, lagos y mares. Las fuentes subterráneas son las corrientes subterráneas que se pueden explotar a través de perforaciones de pozos, para poder extraer el agua por medio de sistemas de bombeo mecánicos.

Para el proceso productivo de azúcar de caña, dentro del proceso industrial se tienen diversos usos de aplicación de agua, podemos considerar como

principales: el sistema de eyectores barométricos, que es utilizada para la formación de vacío de los evaporadores, aplicación de agua para la limpieza de la caña en las mesas de recepción de caña, agua de enfriamiento para equipos mecánicos, calderas y turbinas, circuitos cerrados de recirculación en torres de enfriamiento.

La fuente de abastecimiento para cada sistema va a depender de la accesibilidad o limitaciones con que cuenta cada ingenio, su ubicación geográfica o disponibilidad de los recursos. En su mayoría de casos, los ingenios cuentan con un afluente cercano (río), de donde toman una cantidad de agua que es tratada previamente para poderla incorporar a sus procesos y otra parte que es tomada de las fuentes subterráneas a través de pozos mecánicos, que prestan servicios varios dentro de las instalaciones del ingenio, como: los servicios sanitarios, agua de reposición para los circuitos que necesitan agua de mejor calidad, como las torres de enfriamiento y calderas de vapor.

#### **2.1.5. La cogeneración a partir de biomasa (bagazo de caña)**

La cogeneración es la producción de electricidad a partir de una fuente energética (combustible) o energía térmica (vapor de agua), que es resultado de un proceso, entiéndase la fuente energética como un subproducto de la fabricación de determinado producto.

En el artículo 1 del reglamento de la ley general de electricidad, definiciones del reglamento de la ley general de electricidad, se define a un cogenerador como; propietario de instalaciones de producción de energía que la utiliza para uso propio y tiene excedente para la venta a terceros. (Congreso de la República de Guatemala, 1996, p. 21)



Existen diferentes industrias y agroindustrias que cuentan con este tipo de fuente de energía, como subproducto de sus procesos productivos. Dentro de la agroindustria pueden nombrarse: los beneficios de café, las plantas procesadoras de palma africana para producir aceites vegetales y la industria azucarera que procesa la caña de azúcar.

“Para los ingenios azucareros esta fuente energética se obtiene de la biomasa, conocida como bagazo, esta es una fuente energética considerada como biomasa y se clasifica como fuente de energía primaria renovable dentro de la legislación nacional” (Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía, 2018, p. 5).

En los ingenios azucareros de Guatemala, la cogeneración ha tenido un desarrollo y una evolución sostenida; este impulso se ha dado por la generación secundaria de un subproducto, que pasó de ser un desecho a ser biomasa en cantidades abundantes, con un poder calorífico aprovechable que lo convierte en una fuente primaria de energía como combustible para las calderas de los ingenios. (Muñoz, 2014, p. 362)

#### **2.1.6. La incursión de los ingenios en la generación y su aporte a la matriz energética nacional**

La cogeneración para los ingenios azucareros en Guatemala se dio en la década de los ochenta. En el año de 1986 los ingenios iniciaron la cogeneración para su suministro y la comercialización de energía al sistema nacional interconectado del país. Luego entre 1991 y 1995 se suscribieron 33 contratos por 15 años, de energía eléctrica entre el INDE y la EEGSA con empresas privadas, entre estas las del sector azucarero.

La cogeneración empezó en los ingenios con modificaciones a sus calderas, el primer ingenio en generar electricidad para el sector eléctrico fue Pantaleón. Estas primeras inversiones fueron un paso gigante para el cambio del modelo eléctrico, adicional a esto las inversiones implicaron un riesgo alto para los cogeneradores, debido a la incertidumbre sobre el futuro del sector eléctrico entre 1993 y 1996, además la cogeneración permitió que hubiera oferta energética todo el año, pues las calderas de los ingenios podían suministrar electricidad durante la temporada seca y, además, podían prenderse en cualquier momento.

Durante el período de zafra 2018-2019 los ingenios representaron el 31.1% del total de producción de energía eléctrica para el país, superando a la producción con carbón con un aporte del 26.7 % y a las hidroeléctricas que cubrieron 30.9 % de la generación total. (Centro Guatemalteco de Investigación de la Caña de Azúcar, 2019, p. 85)

Durante el período de zafra es la época de menos lluvia en la región, considerando que de no haber oferta de energía con biomasa (bagazo) de los ingenios, aumentaría el precio de la energía, teniendo que cubrir la demanda desplazada por la generación con biomasa con combustibles derivados del petróleo (bunker y turbinas de gas).

## **2.2. Matriz energética nacional**

Abordar el subsector eléctrico nacional es importante, debido a que el tema de estudio tiene un impacto directo al sistema eléctrico nacional, las directrices y leyes que lo rigen.

Desde la creación de la Ley General de Electricidad de Guatemala, según decreto 93-96 del Congreso de la República de Guatemala, donde se

sentaron las bases para la apertura del subsector eléctrico y la desagregación vertical del subsector, para hacer la separación de funciones, reglamentando los servicios, adecuando las condiciones de su prestación, atraer la inversión privada, mejorar la eficiencia del sector volviéndolo competitivo. (Congreso de la República de Guatemala, 1996, p. 3)

La matriz eléctrica de Guatemala ha sido desde sus inicios altamente hidroeléctrica, la primera planta de generación hidroeléctrica en Guatemala fue instalada por unos empresarios alemanes en la finca el Zapote, en 1,885, al norte de la ciudad capital.

En 1896 fue fundada la Empresa Eléctrica del Sur, constituyendo la hidroeléctrica Palín con una capacidad instalada de 723 kilowatts, en 1,927 se amplió su capacidad a 900 kilowatts extendiendo el servicio a Antigua Guatemala, Escuintla, Palín, Villa Nueva, Amatitlán y Mixco. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2015, p. 4)

A raíz de las estrategias de gobierno por medio del MEM (Ministerio de Energía y Minas), como ente encargado de dar las directrices de estado en cuanto al desarrollo energético y su ente técnico la CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica), se establecieron las políticas y los planes de expansión de generación (PEG) y los planes de expansión de transmisión (PET), dando prioridad a la energía con fuentes renovable.

Se lanzaron las licitaciones para las distribuidoras, dando prioridad a las energías renovables (hidroeléctricas, geotérmica, eólicas y solares fotovoltaicos).

Para el período de mayo 2018 a abril de 2019, se puede observar que para la semana 13, comprendida del 24 de marzo del 2,019 nuestra matriz de generación contó con un 61.6 % fuentes renovables y 38.4 % de energía no renovable, de este total el 18.1 % es de generación hidroeléctrica, 34.3 % generación con biomasa (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2,019). Debido a que los ingenios durante la zafra generan con biomasa, aportan un alto porcentaje de energía eléctrica al sistema nacional interconectado, contrarrestando la baja generación de las hidroeléctricas por encontrarse en el período de menor lluvia en la región.

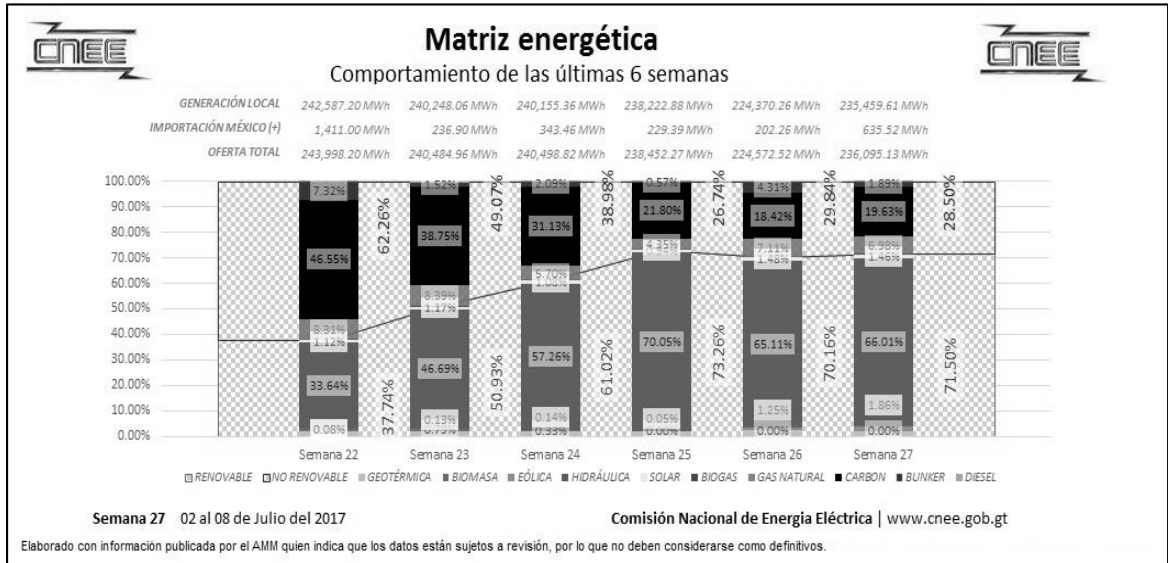
### **2.2.1. Tipos de generación de energía eléctrica en Guatemala**

Guatemala cuenta con una matriz diversa de generación eléctrica, esta principalmente constituida con más del 60% de generación hidroeléctrica.

La matriz eléctrica en Guatemala se denomina hidro-térmica, debido que nuestra generación para abastecer la demanda está compuesta principalmente por energía hidroeléctrica como generación base, alcanzando hasta un 65 % y generación térmica con una participación aproximadamente de un 30 %, además cuenta con energías renovables variables como la fotovoltaica y eólicas, ambas tecnologías nuevas en nuestra matriz de generación. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2019, p. 13)

Dentro de la generación térmica se incluyen la energía geotérmica, generadoras con carbón, bunker y turbinas de gas, como se ilustra en la figura 2.

Figura 2. **Matriz energética de Guatemala**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2019). *Matriz Energética*. Consultado el 11 de octubre de 2019. Recuperado de [http://www.cnee.gov.gt/wp/?page\\_id=2436](http://www.cnee.gov.gt/wp/?page_id=2436).

### 2.2.2. Energías renovables

Se les reconoce como energías renovables a las energías primarias que se consideran inagotables, o que su recuperación o regeneración se da en un período muy corto de tal manera que mantiene un abastecimiento continuo.

“En Guatemala se reconocen como tecnologías con recursos renovables a aquellas que utilizan la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, biomasa entre otras que el ministerio de energía y minas determine” (Congreso de la República de Guatemala, 1996, p. 8).

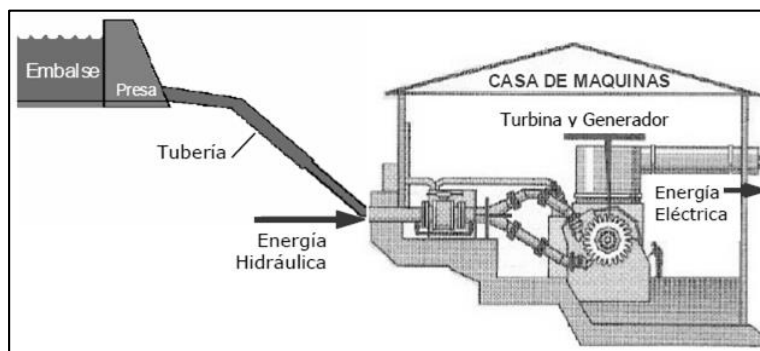
### 2.2.3. Generación hidroeléctrica en Guatemala

La generación hidroeléctrica, es la generación de electricidad que utiliza como fuente primaria de energía los recursos hidráulicos. Las hidroeléctricas son centrales que aprovechan la energía potencial y cinética de las fuentes hídricas superficiales, para convertir esta fuente de energía en electricidad, así como se observa en la figura 3.

Según el MEM (2018) como lo indica en su artículo generación hidroeléctrica:

Guatemala es un país que cuenta con una considerable cantidad de recursos renovables que han sido poco aprovechados, la afirmación anterior se deriva del hecho que, existiendo un potencial de 6,000MW de energía hidroeléctrica, a la fecha solamente se utiliza el 23.1 %. (p.2)

Figura 3. Central generadora hidroeléctrica



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, (2018). *Generación hidroeléctrica, 2. Recursos renovables de energía en Guatemala.*

### **2.3. Pequeñas centrales hidroeléctricas**

Las plantas de generación de electricidad, como las centrales hidroeléctricas son una fuente importante dentro de la matriz energética en muchos países, para Guatemala la generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables, específicamente la generación hidroeléctrica alcanza el 39.34% del total de la capacidad instalada. (MEM, 2018, p. 3)

“La ruta hacia el futuro para la energía renovable en Centroamérica se concentra en el estatus de las tecnologías de energía renovable, en Centroamérica se analiza las condiciones para su desarrollo en el futuro” (Dolezal, Majano y Ramón, 2013, p. 6).

“Guatemala cuenta con diferentes estudios donde se aprecia el importante potencial de generación hidroeléctrica, según el Ministerio de Energía y Minas se tiene un potencial de 6,000 megawatts de los cuales solo se han aprovechado actualmente el 23.1 %” (MEM, 2018, p. 2).

Con el incremento en la generación con centrales hidroeléctricas, se contribuye en gran medida a la independencia energética del país, se reduce la generación termoeléctrica y con ello se disminuyen los efectos en los cambios de los precios del petróleo a nivel mundial, propiciando con esto, la estabilidad y mejores precios de la energía eléctrica.

#### **2.3.1. Características técnicas de pequeñas centrales hidroeléctricas**

Según Santos (2006), en su tesis de graduación *la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía)*:

Algunas de las primordiales particularidades de las pequeñas hidroeléctricas, son:

- Potencia menor a 5 MW
- Caudal máximo
- Desnivel existente o carga optima aprovechable
- Con embalse de regulación o filo de agua

Otras características de las centrales hidroeléctricas pequeñas y que representan mayores beneficios respecto a las grandes centrales son:

- Menor costo inicial de inversión.
- Bajo costo de operación.
- Representan una alternativa para sistemas aislados.
- Bajo impacto al ambiente. (p. 2)

Santos (2006) indica que:

Las pequeñas centrales hidroeléctricas se clasifican de acuerdo con su potencia en:

- Micro centrales  $\leq 100$  kW
- Minicentrales  $\leq 1000$  kW
- Pequeñas centrales  $\leq 5000$  kW (p. 4)



### **2.3.2. Tipos de turbinas hidráulicas**

En el medio existen diferentes tecnologías o tipos de turbinas hidráulicas, estas se clasifican principalmente en dos grandes grupos, según el principio de conversión de la energía potencial y cinética en energía mecánica:

- Turbinas de reacción o sobrepresión.
- Turbinas de acción o impulso.

Según Morales (2014), en su informe:

Las etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas, las turbinas de reacción o sobrepresión son aquellas en las que el sentido de giro del rodete no coincide con las direcciones de entrada y de la salida del agua, de tal modo que las láminas de fluido que se forman con el paso del agua a través de las paletas fijas, no se proyectan directamente en los alabes de la turbina. (p. 180)

“Las turbinas de acción o impulso son aquellas donde la potencia inducida al rotor de la turbina va a depender principalmente de la energía cinética que posee el fluido” (Morales, 2014, p. 180).

### **2.3.3. Selección del tipo de tecnología (tipo de turbina)**

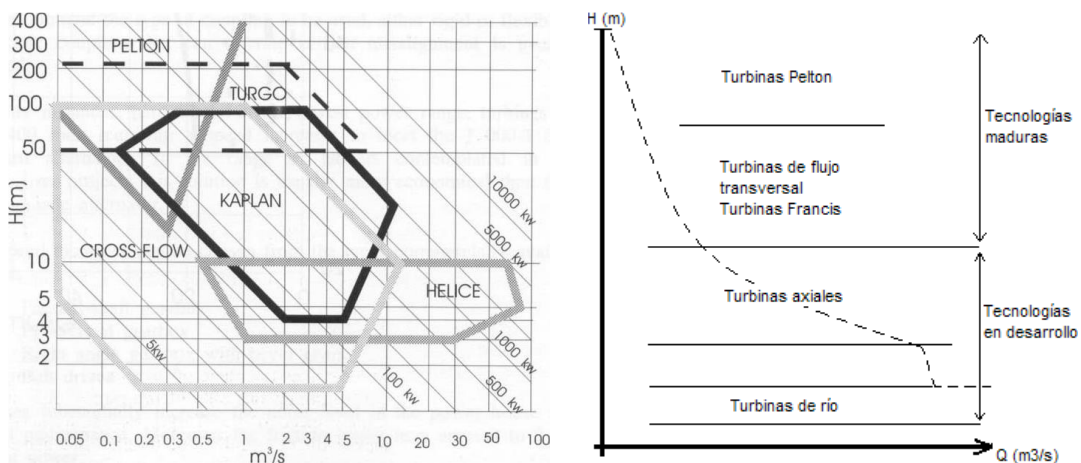
La selección de tipo de turbina a utilizar será en función de las condiciones hidroenergéticas de la fuente primaria de energía, en este sentido se dice que va a depender de las características hidráulicas en el emplazamiento donde se desarrollará el proyecto.

Las variables por considerar para determinar del tipo de turbina son:

- Caudal óptimo
- Carga neta

Tal como se ilustra en la figura 4, donde se detallan las curvas con las condiciones donde se optimiza el uso de los recursos hidráulicos, según el tipo de turbina hidráulica.

Figura 4. **Cuadro de acción y selección de turbinas hidráulicas**



Fuente: Santos. (2006). *Estudio para la implementación de una pequeña central hidroeléctrica, en un beneficio húmedo de café.*

## 2.4. Generación distribuida renovable

La generación distribuida renovable, se define en Guatemala con la creación de las leyes que sustentan y dan directrices para su implementación.

Mantilla, Duque y Galeano (2008) en su artículo presenta:

Un análisis de la pertinencia del desarrollo de sistemas de generación distribuida en Colombia. Se exploran diferentes experiencias de adopción de estos esquemas de generación en diversos países, haciendo énfasis especiales en los resultados económicos, ambientales, y mejora en la confiabilidad del suministro eléctrico, reportados por diferentes autores. (p. 97)

#### **2.4.1. Usuarios autoprodutores con excedentes de energía**

En su resolución No. 227-2014 la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, la cual contiene la Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios autoprodutores con Excedente de Energía, define a los usuarios autoprodutores con excedente de energía, como el usuario del sistema de distribución que inyecta energía eléctrica a dicho sistema, producida por generación con fuentes de energía renovable, ubicada dentro de sus instalaciones de consumo, y que no recibe remuneración por dichos excedentes. (CNEE, 2014, p. 7)

#### **2.4.2. Generadores distribuidos renovables**

Según el Reglamento de la Ley General de Electricidad (Congreso de la República de Guatemala, 1996), en su artículo 1 de definiciones: “Se define a los generadores distribuidos renovables como, la persona, individual o jurídica titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica que utiliza recursos energéticos renovables y participa en la actividad de Generación Distribuida Renovable” (p. 22).

## **2.5. Evaluación de proyectos**

Morales (2014) en su trabajo de investigación indica que:

El propósito de su artículo es realizar una revisión y análisis contextual y de requerimientos básicos a tener en cuenta para implementar proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas, para lo cual se realizó una recopilación de información y una revisión bibliográfica que permitió conocer la situación actual de la técnica a nivel nacional e internacional, así como las tecnologías más eficientes y aptas para su implementación. Por último, se plantean unas etapas y estudios de ingeniería a seguir para lograr con éxito el desarrollo de un proyecto de pequeña central hidroeléctrica y se definen las conclusiones pertinentes del análisis realizado. (p. 178)

### **2.5.1. Factibilidad de proyecto o anteproyecto**

La factibilidad de un proyecto es uno de los tres niveles del proceso de la evaluación de proyectos. Según Baca (2013) en su libro *evaluación de proyectos* hace la siguiente conceptualización de factibilidad de proyecto:

Se denomina estudio de prefactibilidad o anteproyecto. Este estudio profundiza el examen en fuentes secundarias y primarias de investigación de mercado, detalla la tecnología que se empleará, determinarán los costos totales y la rentabilidad económica del proyecto y es la base en que se apoyan los inversionistas para tomar una decisión. (p. 5)

### **2.5.2. Estudio técnico**

El estudio técnico del proyecto comprende, la comprobación de la capacidad o dimensionamiento óptimo de la planta, la localización recomendable de la planta y el diseño del proyecto.

La capacidad de la planta, en muchas ocasiones es difícil de obtener, esta va a depender de los recursos con que se cuentan disponibles, calcular esta a veces es difícil, debido a que las técnicas para su comprobación son iterativas y no existe un método muy preciso para obtener el mejor resultado.

La localización es importante ya que debe de considerarse todos los aspectos, no solo los cuantitativos sino los cualitativos como, las rutas de acceso, clima y otros.

### **2.5.3. Estudio económico**

El estudio económico Baca (2013), refiere que el objetivo principal de este es:

Ordenar y sistematizar la información de carácter monetario que proporcionan las etapas anteriores y elaborar los cuadros analíticos que sirven de base para la evaluación económica. Comienzan con la determinación de los costos totales y de la inversión inicial a partir de los estudios de ingeniería, ya que estos costos dependen de la tecnología seleccionada, continúa con la depreciación y amortización de toda la inversión inicial. (p. 6)

Para la evaluación económica se deberán describir los métodos de evaluación, tomando en consideración la valoración del dinero en el tiempo, con la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN).

### **3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo de investigación se desarrolló de tipo no experimental dentro del emplazamiento de un ingenio azucarero, este ingenio cuenta con recursos hidráulicos para sus procesos internos, los cuales se midieron y se recolectaron los datos como información de campo que se ordenó y analizó para poder determinar cualidades o características físicas de los recursos.

Se realizó con un enfoque mixto ya que cuenta con análisis de datos numéricos para poder determinar el caudal disponible, los datos de consumo de energía, así como las características del emplazamiento tomando en cuenta la topografía del terreno para determinar la carga neta y con esto poder determinar el potencial de generación, además el análisis financiero para poder determinar la factibilidad del proyecto.

#### **3.1. Factibilidad técnica del proyecto**

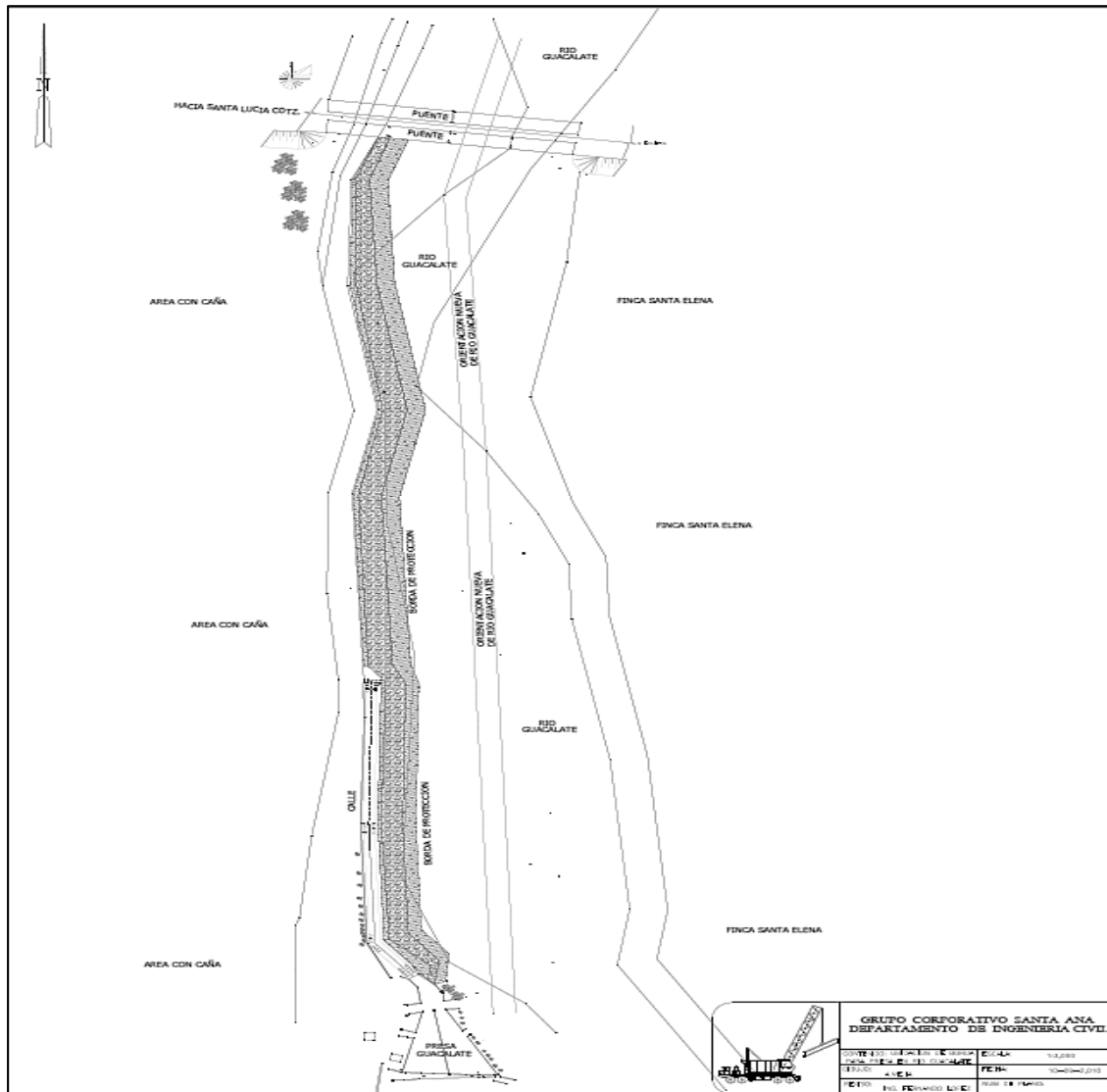
Se determinaron las condiciones físicas del emplazamiento para poder obtener datos técnicos de las condiciones hidráulicas del emplazamiento.

##### **3.1.1. Estudio de la cuenca**

Para el estudio de la cuenca, se realizó un levantamiento topográfico de la cuenca partiendo del puente del río Guacalate, ubicado en las coordenadas (14°17'09.3"N 90°48'39.5"W) sobre la carretera CA-2 que de Escuintla se dirige hacia Santa Lucía Cotzumalguapa, aguas abajo a 630 metros donde se encuentra ubicada la presa y sus desarenadores, de donde se plantea la toma

para la instalación de la planta de generación hidráulica. Se hizo el levantamiento y se elaboró el plano determinando los niveles de la cuenca, como se muestran a continuación en la figura 5.

Figura 5. **Plano de levantamiento topográfico de la cuenca**



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

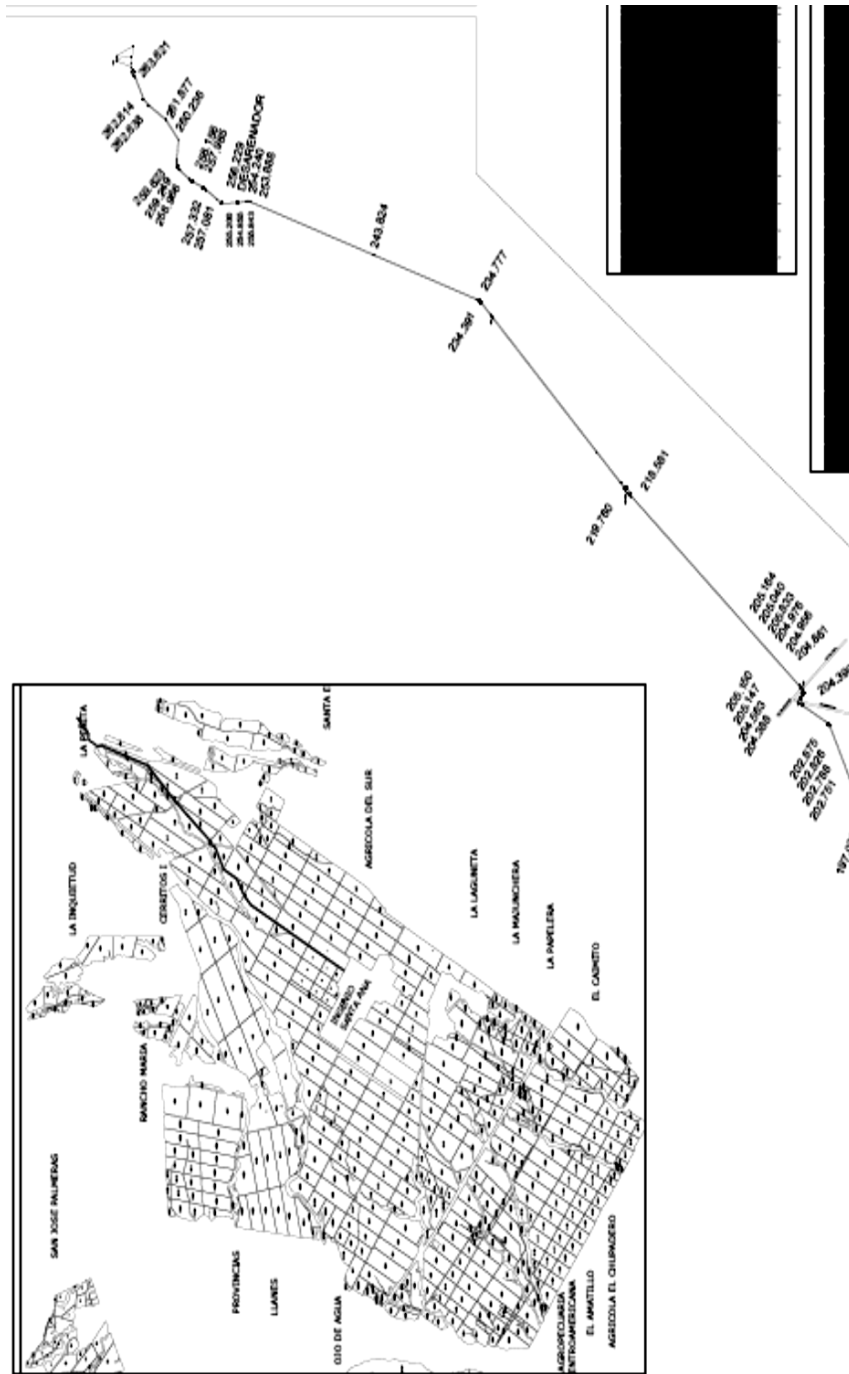


### **3.1.2. Estudio topográfico**

Se cuenta con una finca donde se instalará la tubería de conducción de agua, construida en acero A36, según las especificaciones en dimensiones del fabricante de la turbina.

La distancia de la presa hacia la sala de máquinas es de 1,668 metros de distancia con una diferencia de niveles de 68 metros desde el nivel del embalse de la presa hasta la entrada a la turbina.

Figura 6. Plano de levantamiento topográfico de emplazamiento

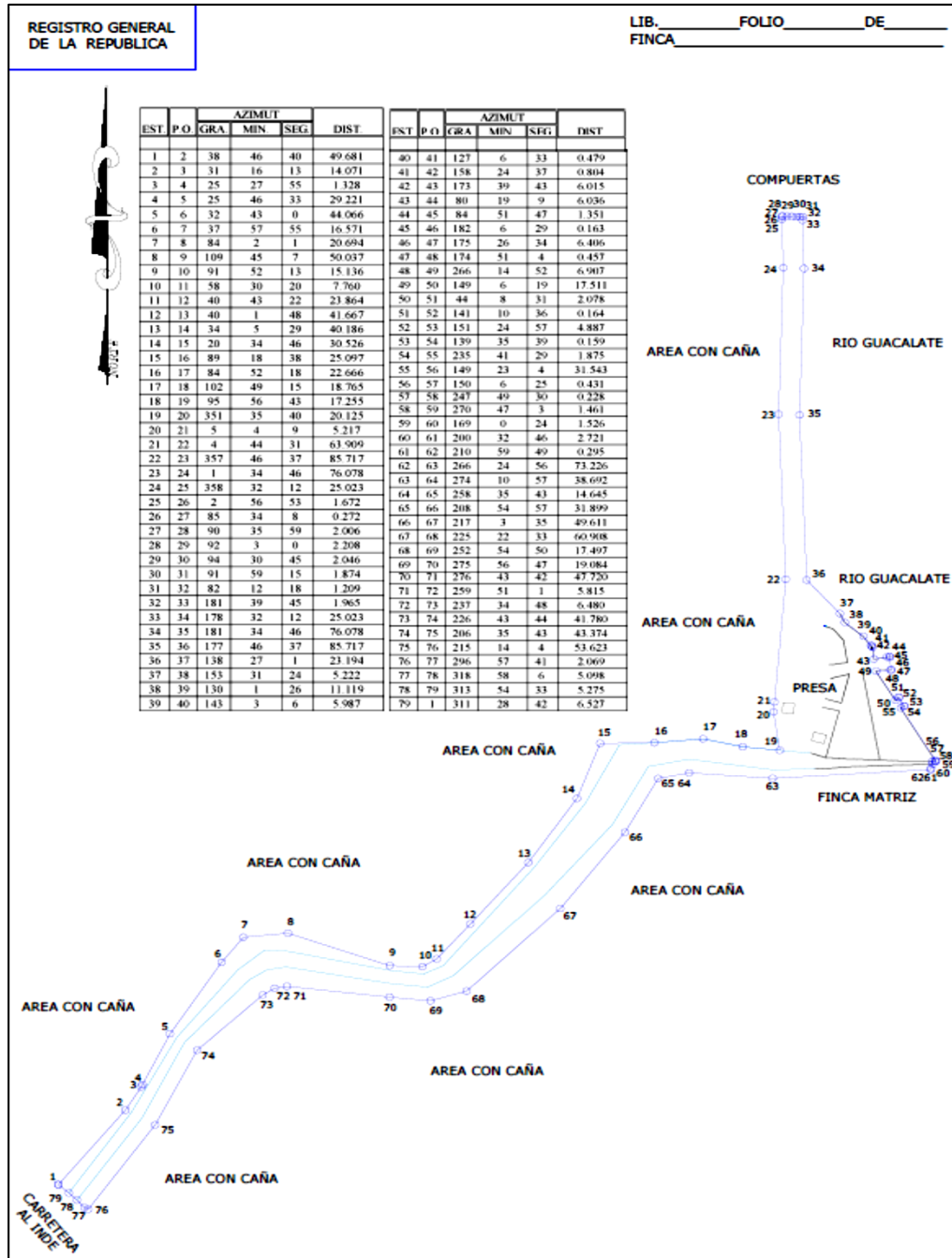


Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

### **3.1.3. Obra civil (presa)**

Se cuenta con una presa que consta de dos desarenadores y sus instalaciones mecánicas (compuertas), para poder realizar su mantenimiento continuo durante la operación, volviendo con esto una parte importante para la continuidad de operación aumentando así el factor de planta y disponibilidad de esta. Se presenta el levantamiento topográfico del afluente para poder determinar las características y el diseño de la presa como se muestra a continuación en la figura 7.

Figura 7. Plano de levantamiento topográfico de afluente del río Guacalate



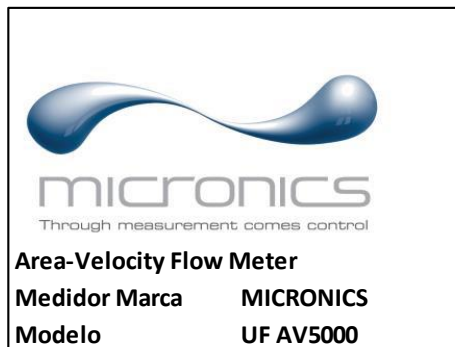
Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCAD.

### 3.1.4. Medición de caudal disponible

Las mediciones históricas de 3 años durante los períodos de zafra, caudal utilizado por el ingenio para su proceso de producción de azúcar en temporada seca o época de zafra, dicho período de zafra comprende los meses de noviembre a mayo del siguiente año, oscilando entre 150 a 160 días, los caudales medidos se encuentran en promedio de 3.06 m<sup>3</sup>/s para las zafras 2015-2016 y 2016-2017, se hace notar que para el período de zafra 2017-2018 los promedios de caudal son menores debido a menor demanda por parte del ingenio reduciendo los caudales a un promedio de 0.58 m<sup>3</sup>/s, como se presenta en los apéndices 1, 2 y 3.

Las mediciones realizadas se obtuvieron con un medidor que funciona con un transmisor ultrasónico según datos de placa de identificación en la figura 8. Medidor marca Micronics, modelo UF AV5000, utiliza un sensor ultrasónico sumergido para medir continuamente velocidad y nivel en el canal. Este medidor de caudal o flujómetro puede configurarse con un sensor de velocidad sumergido estándar y con un sensor de nivel ultrasónico sin contacto.

Figura 8. **Placa ID flujómetro**



Fuente: elaboración propia.

El canal donde se encuentra instalado el flujómetro es un canal de perfil rectangular de concreto, con un ancho de 2.79 metros, con altura máxima de 1.55 metros como se ilustra en la figura 9.

Figura 9. **Canal perfil rectangular de concreto**



Fuente: [Fotografía de Jorge Cruz], (Escuintla, 2022) Colección particular. Guatemala.

El flujómetro instalado se encuentra configurado para las dimensiones del canal rectangular (2.79 m x 1.55 m). Este flujómetro cuenta con una ecuación que calcula el caudal en metros cúbicos por hora ( $m^3/h$ ) constantemente de donde se obtienen datos de la medición instantánea, estos son guardados en una memoria interna del sistema y se obtienen los promedios semanalmente en el sistema Scada de la empresa.

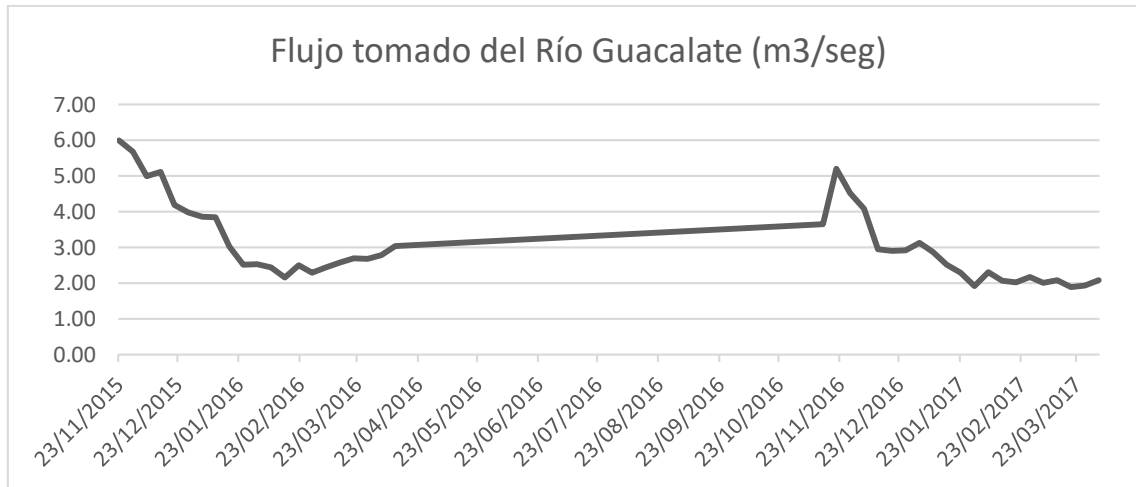
Tabla I. **Mediciones de caudal en período de zafra 2015-2016, zafra 2016-2017 y zafra 2017-2018**

Semana de medición	Fecha	Flujo tomado del río Guacalate (m <sup>3</sup> /seg)	Fecha	Flujo tomado del río Guacalate (m <sup>3</sup> /seg)	Fecha	Flujo tomado del río Guacalate (m <sup>3</sup> /seg)
1	23/11/2015	6.00	14/11/2016	3.65	13/11/2017	1.00
2	30/11/2015	5.69	21/11/2016	5.20	20/11/2017	0.90
3	07/12/2015	5.00	28/11/2016	4.52	27/11/2017	0.68
4	14/12/2015	5.12	05/12/2016	4.09	04/12/2017	0.48
5	21/12/2015	4.20	12/12/2016	2.95	11/12/2017	0.49
6	28/12/2015	3.98	19/12/2016	2.90	18/12/2017	0.59
7	04/01/2016	3.86	26/12/2016	2.92	25/12/2017	0.63
8	11/01/2016	3.85	02/01/2017	3.14	01/01/2018	0.64
9	18/01/2016	3.02	09/01/2017	2.88	08/01/2018	0.57
10	25/01/2016	2.52	16/01/2017	2.52	15/01/2018	0.44
11	01/02/2016	2.54	23/01/2017	2.30	22/01/2018	0.35
12	08/02/2016	2.44	30/01/2017	1.92	29/01/2018	0.57
13	15/02/2016	2.16	06/02/2017	2.31	05/02/2018	0.57
14	22/02/2016	2.51	13/02/2017	2.07	12/02/2018	0.52
15	29/02/2016	2.30	20/02/2017	2.02	19/02/2018	0.49
16	07/03/2016	2.44	27/02/2017	2.17	26/02/2018	0.58
17	14/03/2016	2.58	06/03/2017	2.00	05/03/2018	0.53
18	21/03/2016	2.70	13/03/2017	2.09	12/03/2018	0.56
19	28/03/2016	2.69	20/03/2017	1.90	19/03/2018	0.54
20	04/04/2016	2.79	27/03/2017	1.94	26/03/2018	0.56
21	11/04/2016	3.04	03/04/2017	2.08		

Fuente: elaboración propia

El caudal medido puede oscilar y alcanzar picos con valores de 5.56 m<sup>3</sup>/s como se ilustra en la figura 10, considerando que el afluente del río alcanza caudales mayores a los 7 m<sup>3</sup>/s en época seca, mientras que en época de lluvia los caudales que alcanza el río son superiores a los 136 m<sup>3</sup>/s.

Figura 10. **Hidrograma para el período medido**



Fuente: elaboración propia

### **3.2. Selección y diseño de equipos**

A continuación, se hace la descripción de la selección y diseño de equipo por utilizar.

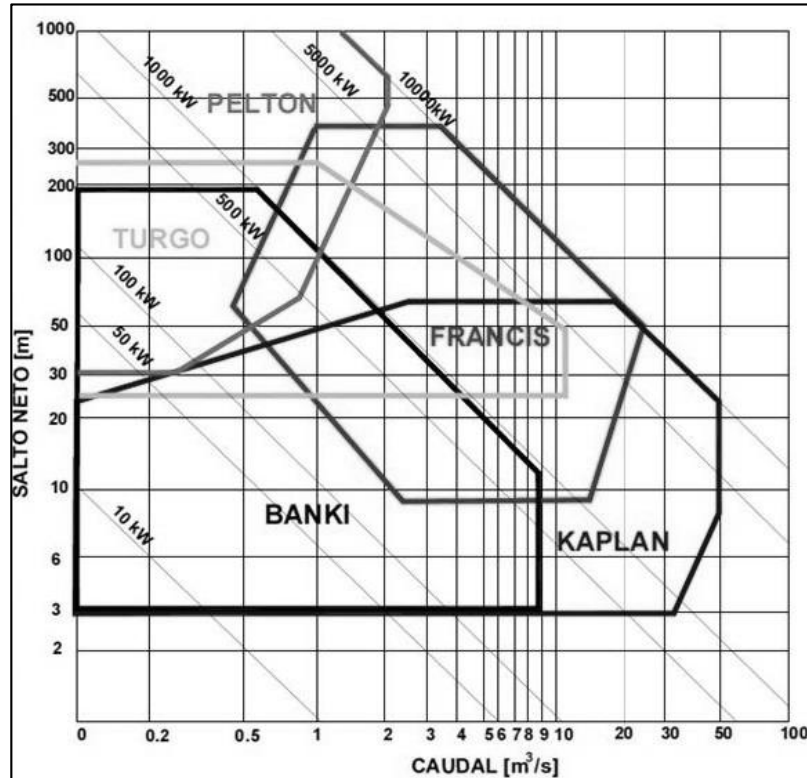
#### **3.2.1. Selección del tipo de turbina**

Para la selección del tipo de turbina se parte de los datos topográficos obtenidos (niveles del emplazamiento) carga y caudal disponible.

Según los esquemas de optimización de las condiciones hidroenergéticas se determina con qué rangos de caudal y altura (carga neta) se tienen disponibles para poder seleccionar el tipo de turbina como se ilustra en la figura 11.



Figura 11. Cuadro de acción de turbinas hidráulicas



Fuente: Santos. (2006). *Estudio para la implementación de una pequeña central hidroeléctrica, en un beneficio húmedo de café.*

### 3.2.2. Diseño y capacidad de turbina

Con los datos obtenidos en los apartados anteriores donde se desarrolló el trabajo de campo, el caudal disponible y carga neta disponible se procede a calcular el potencial de generación y su eficiencia.

$$P = \eta \rho g Q h$$

En donde:

- $\eta$ = Eficiencia 91 %.
- $\rho$ = Densidad kg/m<sup>3</sup>.
- $g$ = Fuerza de gravedad 9.807 m/s<sup>2</sup>.
- $Q$ = Caudal m<sup>3</sup>/s.
- $\mathcal{H}$ = Altura o carga neta en metros.

Tabla II. **Cálculo de eficiencia y potencial de generación**

Q (%)	Q (m3/s)	Eta (%)	P (kW)
100	3	100 %	1368.08
90	2.7	90 %	1231.27
80	2.4	80 %	1094.46
70	2.1	70 %	957.65
60	1.8	60 %	820.85
50	1.5	50 %	684.04
40	1.2	40 %	547.23

Fuente: elaboración propia.

La potencia máxima calculada es de 1,367 kw con un caudal de 3 metros cúbicos por segundo.

### **3.3. Factibilidad económica del proyecto**

Se determinan todos los costos y datos económicos en que se incurren e involucran para poder hacer el análisis financiero del proyecto, se hace un recuento de las variables que se tienen con relación a los costos de inversión para el proyecto y los costos que se tienen por el consumo de energía.

### **3.3.1. Costos de inversión de proyecto**

Los costos de inversión inicial se determinaron con la cotización propuesta por la empresa contratista quien en su momento ofertó los equipos electromecánicos, los equipos auxiliares de control e instrumentación del proyecto.

En la oferta propuesta detalla el alcance de los equipos a suministrar con sus especificaciones técnicas, capacidades, dimensiones y detalles de alcance de los trabajos para el montaje y puesta en marcha del proyecto.

### **3.3.2. Consumo de energía en período de no zafra**

Los consumos de energía dentro del ingenio en el período de no zafra (período de reparación de 01 de mayo al 15 de noviembre de cada año) alcanza los 1,700 kW en las horas hábiles de labores, aproximadamente 9 horas durante el día, disminuyendo este consumo a 1,000 kW en horas no hábiles. Se realizaron promedios de consumo en los periodos mensuales.

### **3.3.3. Costo del consumo de energía en período de no zafra**

Los costos de la energía eléctrica consumida para los períodos de no zafra corresponden a la cantidad de kW\* horas consumidas durante las 24 horas del día por el precio de dicha energía, los precios de la energía son los tasados en el mercado de oportunidad tomando de referencia los costos de la energía en el mercado spot, determinado por el AMM (Administrador del Mercado Mayorista). Se obtuvieron los costos promedios facturados mensualmente, obteniendo los costos unitarios por mes.

### 3.3.4. Análisis financiero del proyecto

En este apartado se realizan los diferentes cálculos matemáticos-financieros para poder evaluar y determinar la factibilidad del proyecto. Se realizaron los cálculos y análisis de los indicadores económicos VAN y TIR del proyecto.

### 3.3.5. Análisis del valor actual neto del proyecto (VAN)

Para evaluar las bondades del proyecto se desarrolló el análisis de valor actual neto (VAN), esto para determinar la proyección del valor del proyecto en el tiempo y se determinó el período de recuperación de la inversión. Se hace uso del programa de hojas de cálculo de Excel como herramienta para facilitar el análisis y determinar las variables de interés (monto de capital, estructura de capital y período de recuperación de inversión).

$$VAN = -I_0 + \sum_{p=1}^n \left( \frac{FBp}{(1+i)^p} \right) \text{ (Ecuación 1)}$$

$$VAN = -I_0 + \frac{FN1}{(1+i)^1} + \frac{FN2}{(1+i)^2} + \frac{FN3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FNn}{(1+i)^n} \text{ (Ecuación 2)}$$

En donde:

- $-I_0$  = Inversión inicial
- $n$  = Número de período
- $i$  = Tasa de interés mínimo esperada
- $FBp$  = Flujo de efectivo del período  $p$
- $p$  = Período de capitalización

### 3.3.6. Análisis de la tasa interna de retorno del proyecto (TIR)

Para evaluar la tasa interna de retorno del proyecto se desarrolló el análisis (TIR), esto para obtener la tasa de utilidad sobre la inversión realizada en períodos anualizados. Se hace uso del programa de hojas de cálculo de Excel como herramienta para facilitar el análisis y determinar las variables de interés (% de tasa de utilidad sobre el capital invertido).

$$TIR = \sum_{T=0}^n \left( \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0 \right) \text{ (Ecuación 3)}$$

En donde:

- $n$  = Número de período.
- $Fn$  = Flujo de efectivo del período  $p$
- $i$  = Tasa de interés donde el valor de capital es igual o mayor cero



## **4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

Los resultados obtenidos de la investigación para determinar la factibilidad de la instalación de una planta generadora hidráulica menor a 5 MW en un ingenio azucarero, se describen a continuación.

### **4.1. Se determina la capacidad hídrica disponible (aprovechable)**

Con los datos de medición de caudal se demuestra que se cuenta con caudal disponible tomando el afluente del río Guacalate.

Se determina que el caudal tomado del río Guacalate se mantiene en promedio en 3.06 metros cúbicos por segundo, estos datos fueron tomados de los datos históricos del consumo de recursos hidráulicos dentro del ingenio para los períodos de zafra durante los meses de noviembre a mayo de cada año.

Los caudales medidos demuestran que la capacidad hídrica disponible es aprovechable para obtener la energía hidráulica y generar energía eléctrica. Estas mediciones se pueden hacer con los caudalímetros instalados dentro de las instalaciones del ingenio.

Durante la zafra 2016-2017 y 2017-2018 se cuenta en promedio con un caudal medido de 11,000 m<sup>3</sup>/hora equivalente a 3.06 m<sup>3</sup>/s., esto da un caudal susceptible para generación de energía a pequeña escala, con una planta generadora menor a 5 MW.

Con los datos obtenidos en las mediciones topográficas se determina un salto de agua de 50 metros como carga neta, esta diferencia de altura nos da una capacidad de energía potencial del afluente disponible.

#### **4.2. Se determina el tipo de turbina y potencia a instalar y poder aprovechar eficientemente el recurso hídrico**

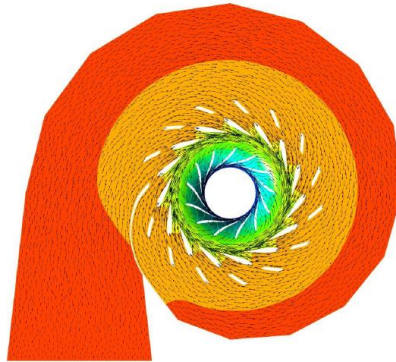
Con el análisis de los datos obtenidos y con base a los datos hídricos y salto de agua, con relación a la gráfica número 11, gráfica de campo de aplicación de turbinas hidráulicas se logra determinar el tipo de turbina a instalar por su desempeño según los rangos de operación.

Se demuestra que se cuenta con un caudal de  $3.06 \text{ m}^3/\text{s}$ ., y una carga neta de 50 metros para determinar que el tipo de turbina a implementar es una turbina Francis como se muestra en la figura 12, por considerarse una turbina de alto caudal y un salto de agua medio, optimizando con este el aprovechamiento del recurso hídrico y la energía de este.



Figura 12. **Diseño gráfico de simulación de flujo en caracol de turbina Francis**

SIMULACION DE FLUJO EN CARACOL, PREDISTRIBUIDOR Y DISTRIBUIDOR



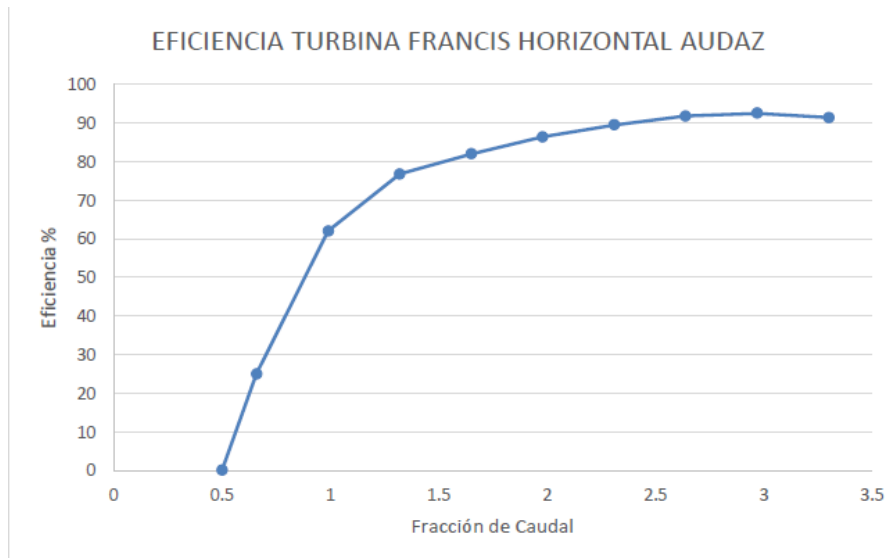
Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Eficiencia y potencial de generación ofertada**

Q (%)	Q (m3/s)	Eta (%)	P (kW)
100	3	92.5	1361
90	2.7	91.4	1225
80	2.4	91.8	1080
70	2.1	89.5	981
60	1.8	86.4	762
50	1.5	82	603
40	1.2	76.8	452

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Curva de eficiencia y potencial de generación ofertada**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.3. El análisis técnico-económico, para determinar la factibilidad económica del proyecto**

Este estudio se desarrolla mediante el análisis de las premisas de inversión inicial del proyecto, los montos y costos de la energía consumida en el ingenio.

Con los datos económicos y técnicos obtenidos de la oferta se determinan los costos de la inversión valorados en un monto total de \$1,719,076 dólares americanos.

Los montos y costos de la energía consumida se determinan de los datos obtenidos de los medidores de energía instalados en el área industrial del ingenio proporcionando los datos de los períodos 2017-2018 y 2018-2019 de los consumos de energía eléctrica y los costos promedio de mensual de la energía

consumida, obteniendo con esto los montos de capital gastado durante el mes de operación y mantenimiento dentro del ingenio.

**Tabla IV. Cantidad y costo de energía eléctrica consumida**

ZAFRA	Mes	Consumo propio (kWh)	Valorización consumo propio (US\$)	Unitario promedio CP (US\$/MWh)
17-18	nov-17	- 563,513	-\$24,591	\$44
17-18	dic-17	- 7,409	-\$384	\$52
17-18	ene-18	- 13,733	-\$502	\$37
17-18	feb-18	- 17,287	-\$1,007	\$58
17-18	mar-18	- 7,554	-\$523	\$69
17-18	abr-18	- 586,273	-\$34,651	\$59
17-18	may-18	- 691,035	-\$48,584	\$70
17-18	jun-18	- 728,300	-\$42,525	\$58
17-18	jul-18	- 783,309	-\$54,278	\$69
17-18	ago-18	- 769,278	-\$67,917	\$88
17-18	sep-18	- 808,657	-\$62,563	\$77
17-18	oct-18	- 782,802	-\$61,738	\$79
18-19	nov-18	- 344,022	-\$28,488	\$83
18-19	dic-18	- 3,899	-\$224	\$57
18-19	ene-19	- 2,971	-\$209	\$70
18-19	feb-19	- 22,294	-\$2,304	\$103
18-19	mar-19	- 14,190	-\$892	\$63
18-19	abr-19	- 12,395	-\$1,196	\$96
18-19	may-19	- 919,607	-\$85,343	\$93
18-19	jun-19	- 744,085	-\$58,280	\$78
18-19	jul-19	- 685,261	-\$56,852	\$83
18-19	ago-19	- 703,241	-\$52,467	\$75
18-19	sep-19	- 807,182	-\$52,710	\$65
18-19	oct-19	- 728,490	-\$30,579	\$42

Fuente: elaboración propia.

#### **4.4. Los resultados de la investigación determinan que se cuenta con la factibilidad para el desarrollo del proyecto**

El fruto obtenido del análisis de datos demuestra que se cuenta con condiciones de factibilidad técnica para el desarrollo del proyecto, se tiene caudal y salto de agua necesario para poder desarrollar un proyecto de generación hidráulica menor a 5 MW de potencia.

El análisis económico muestra la factibilidad para el desarrollo del proyecto de generación hidráulica, con beneficios económicos al llevar a cabo el montaje de la pequeña planta hidráulica para el ingenio azucarero.

## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. Capacidad hídrica disponible

En la determinación de la capacidad de recurso hídrico disponible se calculó el potencial de generación, con base a los datos medidos y recolectados durante el trabajo de investigación, aplicando la fórmula (1) de este capítulo, para el cálculo de potencia o potencial de generación hidroeléctrica se define que;

Aplicando la fórmula 1:

$$P = \eta \rho g Q \mathcal{H}$$

En donde:

- $\eta$  = Eficiencia 91 %.
- $\rho$  = Densidad 1 kg/m<sup>3</sup>.
- $g$  = Fuerza de gravedad 9.807 m/s<sup>2</sup>.
- $Q$  = Caudal 3.06 m<sup>3</sup>/s.
- $\mathcal{H}$  = Altura o carga neta en metros lineales 50 m.

$$P = 0.91 * 1kg/m^3 * 9.807 m/s^2 * 3.06 \frac{m^3}{s} * 50 m$$

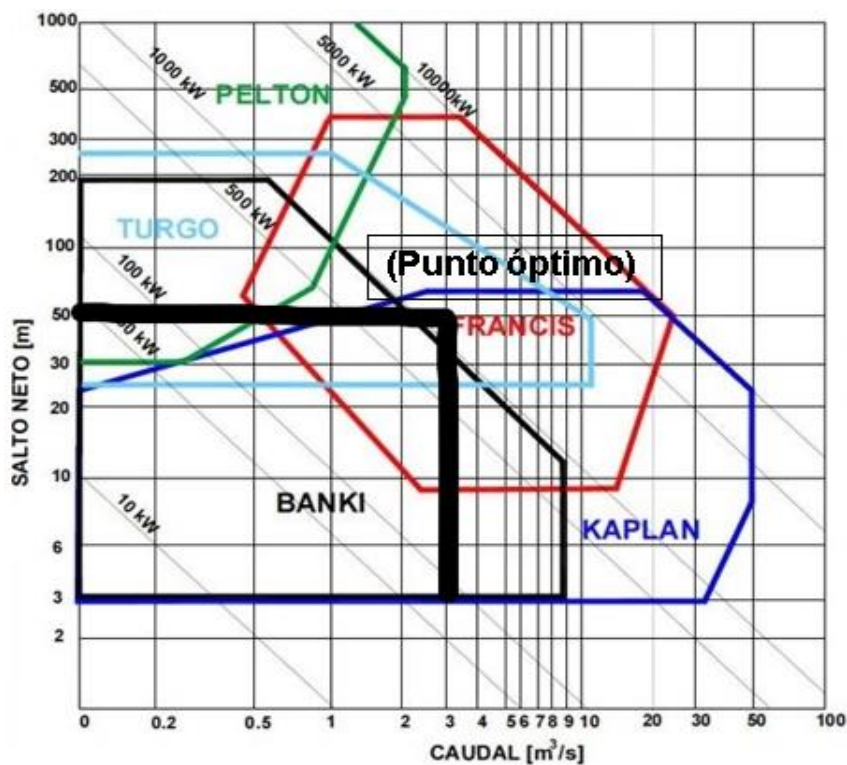
$$P = 1,361 kW$$

Se cuenta con un potencial de generación de 1,361 kW para poder desarrollar un proyecto con dicha capacidad instalada.

## 5.2. Tipo de turbina a utilizar para optimizar el recurso hídrico disponible

Para la selección de tecnología o tipo de turbina, se realizó el trazo en la gráfica de campo de aplicación de turbinas hidráulicas, considerando los valores medidos de caudal y carga neta, encontrándose que el punto óptimo del equipo o tipo de turbina es la turbina Francis.

Figura 14. Trazo de campo de aplicación de turbinas hidráulicas



Fuente: elaboración propia.

El caudal promedio medido es de 3.06 metros cúbicos por segundo y una carga neta de 50 metros, el punto óptimo para el aprovechamiento del recurso hidráulico es con una turbina del tipo Francis.

### **5.3. Análisis técnico-económico**

En el análisis técnico y económico se determinó que el proyecto tendrá diferentes rubros con montos de capital a invertir importantes o principales, los rubros principales que engloban una serie de componentes cada uno son;

- Equipos electromecánicos por un monto total de \$934,215 dólares americanos.
- Estudios eléctricos y pruebas por un monto total de \$105,000 dólares americanos.
- Obra civil por un monto de \$598,000 dólares americanos.

En los equipos eléctricos y mecánicos se definió el diseño de la turbina y generador, las capacidades de los equipos y el total de equipos auxiliares, los paneles o gabinetes de control y protección para la operación eléctrica y mecánica.

Se definieron los estudios eléctricos y pruebas de sincronismo e interconexión a la red eléctrica y los dispositivos de protección y control, dispositivos de seguridad para prevenir fallas eléctricas y mecánicas de los equipos.

Las obras civiles que se desarrollarán para llevar a cabo el montaje de la planta generadora hidráulica, se consideró una inversión en remozamiento y acondicionamiento de la presa, las cimentaciones de la tubería de conducción, el canal revestido y la sala de máquinas, además se consideró un 5 % dentro del presupuesto como un rubro de imprevistos para satisfacer cualquier necesidad que se presente no planificada dentro del desarrollo del proyecto.

#### **5.4. Determinación de factibilidad del proyecto**

La factibilidad del proyecto contempla la factibilidad técnica y económica, se determina que el proyecto del montaje de una generadora hidráulica menor a 5 MW dentro de un ingenio azucarero es viable, derivado de los altos costos por consumo de energía del ingenio en los períodos de no zafra, estas condiciones hacen que la inversión en el montaje de una planta generadora hidráulica sea atractiva.

Aprovechando el recurso hídrico disponible se reducen los costos por la disminución del consumo de energía eléctrica de la red, recuperando el capital de inversión en un mediano plazo. Siendo el recurso hídrico parte del proceso productivo del ingenio se cuenta con parte de la infraestructura civil para la toma del afluente disminuyendo con esto los costos en la inversión inicial del proyecto.

Utilizando las fórmulas (2) y (4) para el cálculo del VAN y la TIR, con datos económicos iniciales para la inversión del proyecto y la ayuda de MS Excel se obtuvieron los resultados de la tabla V, ver apéndice 5, 6 y 7 donde se detallan las premisas económicas y financieras del proyecto.

$$VAN = -I_0 + \sum_{p=1}^n \left( \frac{FBp}{(1+i)^p} \right)$$



En donde:

- $-I_0$  = Inversión inicial.
- $n$  = Número de período.
- $i$  = Tasa de interés minim esperada
- $FBp$  = Flujo de efectivo del período p
- $p$  = Período de capitalización

$$TIR = \sum_{T=0}^n \left( \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0 \right)$$

En donde:

- $n$  = Número de período
- $Fn$  = Flujo de efectivo del período p
- $i$  = Tasa de interés donde el valor de capital es igual o mayor cero

Tabla V. **Proyección TIR y VAN**

	a 2 Años	a 3 Años	a 4 Años	a 5 Años	a 6 Años	a 7 Años	a 8 Años	a 9 Años	a 10 Años
<b>TIR</b>	-5.7%	16.7%	27.9%	33.8%	37.1%	39.1%	44.9%	44.9%	44.9%
<b>VAN</b>	-\$33,012	\$24,322	\$74,668	\$118,746	\$157,202	\$190,621	\$362,491	\$362,491	\$362,491

Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. El proyecto es técnicamente factible y económicamente rentable ya que a partir del año 3 de encontrarse en operación se tienen utilidades netas anuales para los inversionistas, a una tasa interna de retorno de 16.75 % y utilidad de \$24,322 dólares americanos para el año 3.
2. La capacidad de recurso hidráulico disponible, el caudal de río Guacalate entrando al ingenio da un promedio de 3.06 metros cúbicos por segundo y las mediciones de salto de agua, se tiene una carga neta de 50 metros, con lo cual da un potencial de generación de 1,361 kW.
3. Con los datos técnicos de recurso hidráulico disponible y con base al análisis de la gráfica de curva de desempeño y aplicación de turbinas hidráulicas, el tipo de turbina a montar será una turbina Francis de eje horizontal de un caudal medio y una carga neta baja.
4. Con un monto total como inversión inicial de \$1,719,075 dólares americanos, además con los promedios mensuales de consumos de energía a un costo unitario de \$63.442 MW\*h y el análisis financiero se determinaron los indicadores TIR y VAN concluyendo que el proyecto es económicamente factible.



## RECOMENDACIONES

1. Invertir en el proyecto de instalación de la planta de generación hidráulica para reducir sus costos en el consumo de energía eléctrica.
2. A los ingenios azucareros de la región sur de Guatemala que cuentan con recursos hídricos disponibles, realizar estudios de factibilidad para el aprovechamiento de sus recursos hidráulicos y determinar si es técnica y económicamente viable el montaje de una planta de generación de energía eléctrica.
3. A la asociación de ingenios azucareros de Guatemala ASAZGUA, promover e impulsar programas para el cuidado y uso responsable de los ríos y cuencas que son fuente de recursos muy valiosos para el ecosistema, las comunidades y la industria en general.
4. A la Facultad de Ingeniería, Escuela de Estudios de Postgrado y Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, realizar estudios de la cuenca de río Guacalate para que se puedan aprovechar los recursos naturales para la optimización en el uso energético.



## REFERENCIAS

1. Baca, G. (2013). *Evaluación de proyectos*. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
2. Bustamante, K. (2013). *Estudio de los sistema de generación distribuida*. (Tesis de licenciatura), Universidad del Azuay, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/2195>.
3. CATSA, Central Azucarera Tempisque S.A. (25 de mayo, 2019). Fabricación del azúcar. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.catsa.net/como-trabajamos/area-industrial/fabricacion-del-azucar/>.
4. Centro Guatemalteco de Investigación de la Caña de Azúcar. (2019). *Boletín estadístico Generación de Energía*. Guatemala: Cengicaña.
5. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. (2012). *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. Guatemala: Cengicaña.
6. Chen, J. (1991). *Manual del azúcar de caña*. México: Limusa.
7. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (11 de octubre, 2019). Matriz energética. [Mensaje en un blog]. Recuperado de [http://www.cnee.gob.gt/wp/?page\\_id=2436](http://www.cnee.gob.gt/wp/?page_id=2436).

8. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2019). *Memoria de labores 2018-2019*. Guatemala: CNEE.
9. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2015). *Mercado de energía eléctrica, guía del inversionista*. Guatemala: CNEE.
10. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2016). *Norma técnica para la conexión, operación, control y comercialización de la generación distribuida renovable. Compendio de normas técnicas*. Guatemala: Serviprensa S.A.
11. Congreso de la República de Guatemala. (1996). *Decreto del congreso de la república 93-96. Ley general de electricidad*. Guatemala: Congreso de la República de Guatemala.
12. Dolezal, A., Majano, A. y Ramón, O. (2013). *Ruta hacia el futuro para la energía renovable en centroamérica*. Washington, D.C. EE.UU.: Woldwatch Institute.
13. Mantilla, J., Duque, C. y Galeano, C. (Junio de 2008). Análisis del esquema de generación distribuida como una opción para el sistema eléctrico colombiano. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 44, 97-110.
14. Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía. (2018). *Estadísticas subsector eléctrico 2018*. Guatemala: MEM.
15. Ministerio de Energía y Minas. (2018). *Generación hidroeléctrica*, 3. Guatemala: MEM.



16. Ministerio de Energía y Minas. (2018). *Generación hidroeléctrica, 2. Recursos renovables de energía en Guatemala*. Guatemala: MEM.
17. Morales, C. (Abril de 2014). Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas: Contexto y criterios básicos de implementación. *Revistas científicas de América latina, el caribe, España y Portugal*, 18(184), 178-185.
18. Muñoz, M. (2014). *Es cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. Guatemala: Artemis Edinter.
19. Pérez, J. y Rivier, M. (2002). *Los sistemas de energía eléctrica*. Madrid, España: McGraw-Hill Americana de España, S.A. U.
20. Perez, J. y Lawrence, P. (1997). *Industria azucarera en Guatemala: Análisis de sostenibilidad*. Costa Rica: INCAE.
21. Rincon, I. (2016). *Análisis legal de la generación distribuida de energía eléctrica en Costa Rica*. (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Recuperado de [http://ijj.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/irene\\_castillo\\_rincon\\_-\\_juan\\_ignacio\\_davidovich\\_molina\\_tesis\\_completa\\_147.pdf](http://ijj.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/irene_castillo_rincon_-_juan_ignacio_davidovich_molina_tesis_completa_147.pdf).
22. Santos, J. (2006). *Estudio para la implementación de una pequeña central hidroeléctrica, en un beneficio húmedo de café*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <https://docplayer.es/14252489-Estudio-para-la-implementacion-de-una-pequena-hidroelectrica-en-un-beneficio-humedo-de-cafe.html>.

23. Valencia, W. (Enero de 2011). Indicador de Rentabilidad de Proyectos: el Valor Actual Neto (VAN) o el Valor Económico Agregado (EVA). *Industrial Data, Revista de investigación*, 14(1), 15-18. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=8162258> 2003.
  
24. Yadaicela, J. (2011). *Estudio técnico-económico sobre la implementación de generación distribuida en el sistema eléctrico ecuatoriano*. (Tesis de licenciatura). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4709>.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Mediciones de caudal zafra 2015-2016

Flujo agua Zafra 2015-2016		TAG	FT59010
Semanas de medición	Descripción		Flujo tomado del río Guacalate (m3/s)
23/11/2015 00:00	30/11/2015 00:00	23/11/2015	6.00
30/11/2015 00:00	07/12/2015 00:00	30/11/2015	5.69
07/12/2015 00:00	14/12/2015 00:00	07/12/2015	5.00
14/12/2015 00:00	21/12/2015 00:00	14/12/2015	5.12
21/12/2015 00:00	28/12/2015 00:00	21/12/2015	4.20
28/12/2015 00:00	04/01/2016 00:00	28/12/2015	3.98
04/01/2016 00:00	11/01/2016 00:00	04/01/2016	3.86
11/01/2016 00:00	18/01/2016 00:00	11/01/2016	3.85
18/01/2016 00:00	25/01/2016 00:00	18/01/2016	3.02
25/01/2016 00:00	01/02/2016 00:00	25/01/2016	2.52
01/02/2016 00:00	08/02/2016 00:00	01/02/2016	2.54
08/02/2016 00:00	15/02/2016 00:00	08/02/2016	2.44
15/02/2016 00:00	22/02/2016 00:00	15/02/2016	2.16
22/02/2016 00:00	29/02/2016 00:00	22/02/2016	2.51
29/02/2016 00:00	07/03/2016 00:00	29/02/2016	2.30
07/03/2016 00:00	14/03/2016 00:00	07/03/2016	2.44
14/03/2016 00:00	21/03/2016 00:00	14/03/2016	2.58
21/03/2016 00:00	28/03/2016 00:00	21/03/2016	2.70
28/03/2016 00:00	04/04/2016 00:00	28/03/2016	2.69
04/04/2016 00:00	11/04/2016 00:00	04/04/2016	2.79
11/04/2016 00:00	18/04/2016 00:00	11/04/2016	3.04
18/04/2016 00:00	25/04/2016 00:00	18/04/2016	3.19
25/04/2016 00:00	02/05/2016 00:00	25/04/2016	3.97

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Mediciones de caudal zafra 2016-2017**

Flujo agua Zafra 2016-2017		TAG	FT59010
Semanas de medición		Descripción	Flujo tomado del río Guacalate (m3/s)
14/11/2016 00:00	21/11/2016 00:00	14/11/2016	3.65
21/11/2016 00:00	28/11/2016 00:00	21/11/2016	5.20
28/11/2016 00:00	05/12/2016 00:00	28/11/2016	4.52
05/12/2016 00:00	12/12/2016 00:00	05/12/2016	4.09
12/12/2016 00:00	19/12/2016 00:00	12/12/2016	2.95
19/12/2016 00:00	26/12/2016 00:00	19/12/2016	2.90
26/12/2016 00:00	02/01/2017 00:00	26/12/2016	2.92
02/01/2017 00:00	09/01/2017 00:00	02/01/2017	3.14
09/01/2017 00:00	16/01/2017 00:00	09/01/2017	2.88
16/01/2017 00:00	23/01/2017 00:00	16/01/2017	2.52
23/01/2017 00:00	30/01/2017 00:00	23/01/2017	2.30
30/01/2017 00:00	06/02/2017 00:00	30/01/2017	1.92
06/02/2017 00:00	13/02/2017 00:00	06/02/2017	2.31
13/02/2017 00:00	20/02/2017 00:00	13/02/2017	2.07
20/02/2017 00:00	27/02/2017 00:00	20/02/2017	2.02
27/02/2017 00:00	06/03/2017 00:00	27/02/2017	2.17
06/03/2017 00:00	13/03/2017 00:00	06/03/2017	2.00
13/03/2017 00:00	20/03/2017 00:00	13/03/2017	2.09
20/03/2017 00:00	27/03/2017 00:00	20/03/2017	1.90
27/03/2017 00:00	03/04/2017 00:00	27/03/2017	1.94
03/04/2017 00:00	10/04/2017 00:00	03/04/2017	2.08
10/04/2017 00:00	17/04/2017 00:00	10/04/2017	2.01
17/04/2017 00:00	24/04/2017 00:00	17/04/2017	2.11

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Mediciones de caudal zafra 2017-2018**

Flujo agua Zafra 2017-2018		TAG	FT59010
Semanas de medición		Descripción	Flujo tomado del río Guacalate (m3/s)
13/11/2017 00:00	20/11/2017 00:00	13/11/2017	1.00
20/11/2017 00:00	27/11/2017 00:00	20/11/2017	0.90
27/11/2017 00:00	04/12/2017 00:00	27/11/2017	0.68
04/12/2017 00:00	11/12/2017 00:00	04/12/2017	0.48
11/12/2017 00:00	18/12/2017 00:00	11/12/2017	0.49
18/12/2017 00:00	25/12/2017 00:00	18/12/2017	0.59
25/12/2017 00:00	01/01/2018 00:00	25/12/2017	0.63
01/01/2018 00:00	08/01/2018 00:00	01/01/2018	0.64
08/01/2018 00:00	15/01/2018 00:00	08/01/2018	0.57
15/01/2018 00:00	22/01/2018 00:00	15/01/2018	0.44
22/01/2018 00:00	29/01/2018 00:00	22/01/2018	0.35
29/01/2018 00:00	05/02/2018 00:00	29/01/2018	0.57
05/02/2018 00:00	12/02/2018 00:00	05/02/2018	0.57
12/02/2018 00:00	19/02/2018 00:00	12/02/2018	0.52
19/02/2018 00:00	26/02/2018 00:00	19/02/2018	0.49
26/02/2018 00:00	05/03/2018 00:00	26/02/2018	0.58
05/03/2018 00:00	12/03/2018 00:00	05/03/2018	0.53
12/03/2018 00:00	19/03/2018 00:00	12/03/2018	0.56
19/03/2018 00:00	26/03/2018 00:00	19/03/2018	0.54
26/03/2018 00:00	02/04/2018 00:00	26/03/2018	0.56

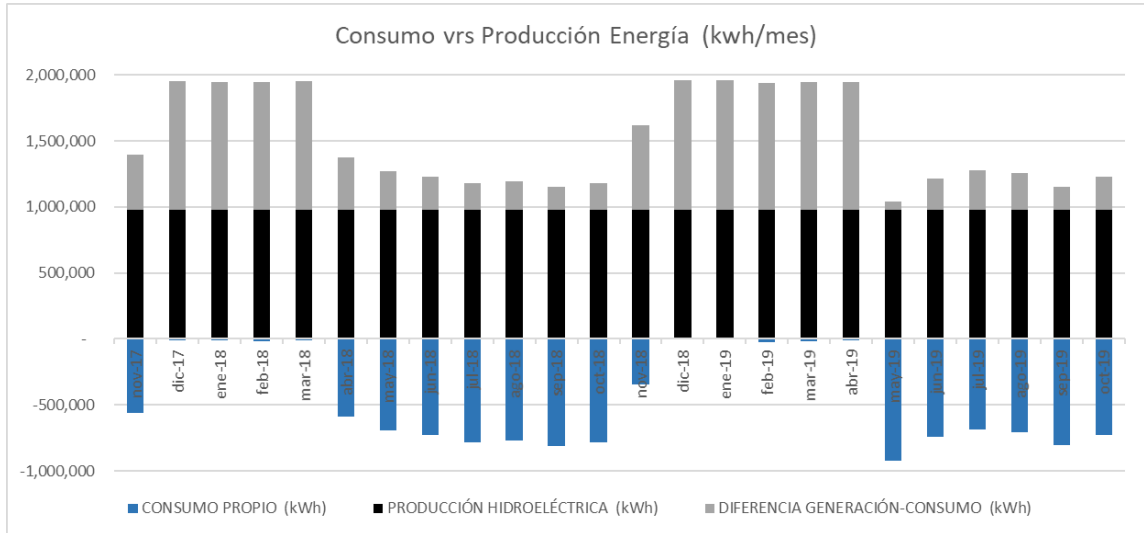
Fuente: elaboración propia.

#### Apéndice 4. Mediciones de consumo de energía y costos

ZAFRA	Mes	Consumo propio (kWh)	Valorización consumo propio (US\$)	Unitario promedio CP (US\$/MWh)
17-18	nov-17	- 563,513	-\$24,591	\$44
17-18	dic-17	- 7,409	-\$384	\$52
17-18	ene-18	- 13,733	-\$502	\$37
17-18	feb-18	- 17,287	-\$1,007	\$58
17-18	mar-18	- 7,554	-\$523	\$69
17-18	abr-18	- 586,273	-\$34,651	\$59
17-18	may-18	- 691,035	-\$48,584	\$70
17-18	jun-18	- 728,300	-\$42,525	\$58
17-18	jul-18	- 783,309	-\$54,278	\$69
17-18	ago-18	- 769,278	-\$67,917	\$88
17-18	sep-18	- 808,657	-\$62,563	\$77
17-18	oct-18	- 782,802	-\$61,738	\$79
18-19	nov-18	- 344,022	-\$28,488	\$83
18-19	dic-18	- 3,899	-\$224	\$57
18-19	ene-19	- 2,971	-\$209	\$70
18-19	feb-19	- 22,294	-\$2,304	\$103
18-19	mar-19	- 14,190	-\$892	\$63
18-19	abr-19	- 12,395	-\$1,196	\$96
18-19	may-19	- 919,607	-\$85,343	\$93
18-19	jun-19	- 744,085	-\$58,280	\$78
18-19	jul-19	- 685,261	-\$56,852	\$83
18-19	ago-19	- 703,241	-\$52,467	\$75
18-19	sep-19	- 807,182	-\$52,710	\$65
18-19	oct-19	- 728,490	-\$30,579	\$42

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Consumo de energía contra producción de energía



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Datos económicos del proyecto hidráulico**

DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL
<b>Grupo turbogenerador completo, según descripción</b>	
Sistema de control eléctrico	
Generador de 1,600 KVA 4.16 KV	\$850,000
Transformador 1,600 KVA 13,8-4,16 kV	
Celda de media tensión para 13,8 kV (Planta)	
Celda de media tensión para 4,16 kV (Generador)	
Un sistema de telemetría a centro de despacho del AMM Opcional	\$12,100
Sistema de medición tipo facturación comercial Opcional	\$12,115
Montaje de suministro pruebas y arranque	\$60,000
<b>Total equipo electromecánico</b>	<b>\$934,215</b>
Estudios eléctricos	\$10,000
Redes de interconexión	\$23,000
Red de tierras	\$12,000
Subestación elevadora	\$45,000
Protecciones y pruebas	\$15,000
<b>Total estudios eléctricos y pruebas</b>	<b>\$105,000</b>
<b>Obras civiles</b>	
Remozamiento y acondicionamiento de presas	\$50,000
Bases de tubería y tubería de conducción y presión	\$225,000
Casa de máquinas	\$35,000
Movimiento de tierras	\$185,000
Canal revestido	\$75,000
Estudios estructurales de obras civiles	\$16,000
Gastos administrativos y autorizaciones	\$12,000
<b>Total obras civiles</b>	<b>\$598,000</b>
Total proyecto	\$1,637,215
<b>TOTAL PROYECTO CON 5 % DE IMPREVISTOS</b>	<b>\$1,719,076</b>

Fuente: elaboración propia.



Apéndice 7. Premisas económicas financieras del proyecto hidráulico

**PREMISAS PROYECTO FINANCIERO**

Capital propio	10 %	Plazo	7	Años
Préstamo	90 %			

<b>Inversión proyecto</b>	<b>\$1,719,076</b>
Capital propio	\$171,908
Capital préstamo	\$1,547,168
Interés	6.50 %
Tipo de cambio	7.78
Recup. años	6
Tasa descuento	8.87 %
Duración depreciación	10
Depreciación	10 %
ISR	25 %
IVA	12 %

Préstamo	\$1,547,168	90 %	
Tasa:	6.50 % nominal anual		
	7 Años		Pago anual: \$282,097

	Intereses	Capital	Pago	Saldo
0				\$1,547,168
1	\$100,565	\$181,531	\$282,097	\$1,365,636
2	\$88,766	\$193,330	\$282,097	\$1,172,305
3	\$76,199	\$205,897	\$282,097	\$966,408
4	\$62,816	\$219,280	\$282,097	\$747,127
5	\$48,563	\$233,533	\$282,097	\$513,593
6	\$33,383	\$248,713	\$282,097	\$264,880
7	\$17,217	\$264,880	\$282,097	\$0

Continuación apéndice 7.

<b>Análisis de sensibilidad</b>			
	<b>WACC</b>	WACC	$r^*(C/IC) + i^*(1-t)^*(D/IC)$
<b>Financiamiento Propio</b>		<b>r</b>	<b>35 %</b> (retorno mínimo esperado por los inversionistas)
		<b>i</b>	<b>6.5 %</b> (interés financiamiento externo)
		<b>t</b>	<b>8.25 %</b> (tasa impositiva)
	<b>10 %</b>	<b>8.87 %</b>	

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 8. Flujo efectivo del proyecto

Flujo de efectivo				
	<b>Capital Propio:</b>	<b>10 %</b>	<b>Costo del proyecto</b>	<b>\$1,719,075.75</b>
	<b>Financiamiento:</b>	<b>90 %</b>		
	<b>Tasa de Descuento</b>	<b>8.87 %</b>		
	Valor de la Energía generada	<b>63.4192</b>	(USD\$ x MWh)	
Años desde puesta en marcha		0	1	2
				3
<b>INVERSIÓN</b>				
Inversión Inicial		<b>- \$1,719,075.75</b>		
Financiamiento a Largo Plazo		1,547,168.18		
Enganche		- 171,907.58		
Crédito Fiscal x el IVA		206,289.09		
Valor Sin IVA		1,719,075.75		
		1,925,364.84		
<b>INGRESOS</b>				
Perdida de eficiencia		0.30 %	0.50 %	0.50 %
Producción Anual Estimada(MWh/año)	9162.25	9,134.77	9,089.09	9,043.65
Precio de Compra/Crédito (USD\$/MWh)	63.4192	579319.33	576422.73	573540.62
<b>INGRESO Total</b>		<b>579,319.33</b>	<b>576,422.73</b>	<b>573,540.62</b>
<b>COSTOS Y GASTOS</b>				
(-) Gastos de Operación y Mantenimiento	25 %	- 144,829.83	- 144,105.68	- 143,385.15
(-) Gastos de Seguro	5.50 %	- 94,549.17	- 94,549.17	- 94,549.17
(-)Gastos de Operación		239,379.00	238,654.85	237,934.32
<b>(=) EBITDA</b>		<b>339,940.33</b>	<b>337,767.88</b>	<b>335,606.30</b>
Depreciación		- 171,907.58	- 171,907.58	- 171,907.58
(+) Deducción s/ISR		14,182.37	14,182.37	14,182.37
(-) Amortización		- \$181,531.36	- \$193,330.90	- \$205,897.41
(+) Deducción s/ISR		-	-	-
<b>(=) EBIT / Utilidad operacional</b>		<b>172,591.34</b>	<b>158,619.36</b>	<b>143,891.27</b>
(-) Intereses		-100,565.93	-88,766.39	-76,199.88
(+) Deducion s/ISR		8,296.69	7,323.23	6,286.49
<b>(=) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>		<b>80,322.10</b>	<b>77,176.19</b>	<b>73,977.87</b>
(-) ISR				
<b>(=) UTILIDAD NETA / Flujo de Caja Neto</b>	<b>-</b>	<b>171,907.58</b>	<b>80,322.10</b>	<b>77,176.19</b>
<b>Acumulado</b>		<b>80,322.10</b>	<b>157,498.30</b>	<b>231,476.17</b>
		0	1	2
				3

Continuación apéndice 8.

Años desde puesta en marcha	4	5	6	7	8
<b>INVERSIÓN</b>					
Inversión Inicial					
Financiamiento a Largo Plazo					
Enganche					
Crédito Fiscal x el IVA					
Valor Sin IVA					
<b>INGRESOS</b>					
Perdida de eficiencia producción Anual	0.50 %	0.50 %	0.50 %	0.50 %	0.50 %
Estimada(MWh/año)	8,998.43	8,953.44	8,908.67	8,864.13	8,819.80
Precio de Compra/Crédito (USD\$/MWh)	570672.92	567819.55	564980.45	562155.55	559344.77
<b>INGRESO Total</b>	<b>570,672.92</b>	<b>567,819.55</b>	<b>564,980.45</b>	<b>562,155.55</b>	<b>559,344.77</b>
<b>COSTOS Y GASTOS</b>					
(-) Gastos de Operación y Mantenimiento	- 142,668.23	- 141,954.89	- 141,245.11	- 140,538.89	- 139,836.19
(-) Gastos de Seguro	- 94,549.17	- 94,549.17	- 94,549.17	- 94,549.17	- 94,549.17
(-) Gastos de Operación	237,217.40	236,504.05	235,794.28	235,088.05	234,385.36
<b>(=) EBITDA</b>	<b>333,455.52</b>	<b>331,315.50</b>	<b>329,186.17</b>	<b>327,067.50</b>	<b>324,959.41</b>
Depreciación	- 171,907.58	- 171,907.58	- 171,907.58	- 171,907.58	- 171,907.58
(+) Deducion s/ISR	14,182.37	14,182.37	14,182.37	14,182.37	14,182.37
(-) Amortización	-\$219,280.74	-\$233,533.99	-\$248,713.70	-\$264,880.09	\$0.00
(+) Deducion s/ISR	-	-	-	-	-
<b>(=) EBIT / Utilidad operacional</b>	<b>128,357.16</b>	<b>111,963.89</b>	<b>94,654.85</b>	<b>76,369.79</b>	<b>339,141.79</b>
(-) Intereses	-62,816.55	-48,563.31	-33,383.60	-17,217.21	0.00
(+) Deducion s/ISR	5,182.37	4,006.47	2,754.15	1,420.42	0.00
<b>(=) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>70,722.97</b>	<b>67,407.05</b>	<b>64,025.40</b>	<b>60,573.00</b>	<b>339,141.79</b>
(-) ISR					
<b>(=) UTILIDAD NETA / Flujo de Caja Neto</b>	<b>70,722.97</b>	<b>67,407.05</b>	<b>64,025.40</b>	<b>60,573.00</b>	<b>339,141.79</b>
<b>Acumulado</b>	<b>302,199.14</b>	<b>369,606.19</b>	<b>433,631.59</b>	<b>494,204.59</b>	<b>833,346.38</b>
	4	5	6	7	8

Fuente: elaboración propia.