



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**ESTUDIO TECNO-ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN DE MICROTURBINAS EN EL
SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL
NEGRITO, YORO**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

21741371 ANNELYS ALEXANDRA YSAGUIRRE JEREZANO

21741185 BESSY REGINA RAMOS ZELAYA

ASESOR: PHD. HÉCTOR VILLATORO

CAMPUS SAN PEDRO SULA; JUNIO, 2021

DEDICATORIAS

Con amor a mi padre, mi apoyo incondicional. Sin él no sería la persona que soy hoy.

Hardy Alexander Ysaguirre Acosta.

A mi abuelo, quien me ha dejado muchas enseñanzas y una huella en el corazón.

Carlos Eduardo Ysaguirre López (Q.D.D.G.).

A mi tío, mi apoyo moral a lo largo de la universidad, quien me permitió ser parte de su vida.

Jan Edwin Ysaguirre Acosta.

Annelys Alexandra Ysaguirre Jerezano

Con mucho amor y esfuerzo a mis padres, Oscar Ramos y Bessy Zelaya, sin su sacrificio y apoyo este paso en mi vida académica no sería posible.

A mi familia, que siempre me ha apoyado incondicionalmente durante la carrera impulsándome siempre a ser mejor y ha celebrado mis logros a través de los años.

A Enzo Altamirano, quien me brindó su apoyo absoluto durante el transcurso de mi carrera universitaria y me ayudó a siempre dar lo mejor con su amor y paciencia.

A mis amigos, Valeria Cisneros, Andrea Yanara, Annelys Ysaguirre, Katty García y Kenneth Stwolinsky; quienes fueron un apoyo esencial para la realización de este proyecto.

Bessy Regina Ramos Zelaya

AGRADECIMIENTOS

Sobre todas las cosas, a Dios por ser guía en cada paso.

A una colega que se convirtió en amiga, Katty García, por su apoyo incondicional.

Al Ing. Franklin Martínez por el conocimiento impartido a lo largo de los años.

A la Ing. Vielka Barahona por poner de su tiempo al apoyarnos durante la investigación.

Al Ing. Héctor Villatoro, por siempre motivarnos a ser mejores profesionales.

RESUMEN

En Honduras el inicio de la generación de energía eléctrica mediante tecnología hidráulica se dio en el año 1980 con la construcción de la Central Hidroeléctrica Francisco Morazán "El Cajón" con una capacidad instalada de 300 MW, ubicada en el departamento de Cortés, Honduras. El uso de fuentes renovables para generación de energía eléctrica disminuye la importación de combustibles fósiles y los daños causados al medio ambiente. Existen 298 municipios en el país de los cuales 41 se encuentran debajo del 50% del Índice de Cobertura Eléctrica (ICE). Entre ellos el municipio del Negrito situado en la zona noroeste del departamento de Yoro en Honduras. El objetivo de esta investigación es determinar la viabilidad de la instalación de microturbinas en las tuberías del sistema de suministro de agua potable del municipio del Negrito, Yoro para la generación de energía eléctrica, para abastecer la demanda de energía eléctrica con fuentes de energía renovable promoviendo el desarrollo sostenible en la comunidad. Se determinó que el sistema de agua potable cuenta con una velocidad de agua que es normalmente desaprovechada porque es baja, como lo es normalmente en los sistemas de agua potable de zonas rurales. Sin embargo, existen microturbinas que tienen un rango de funcionamiento desde 0,0005 m³/s de caudal mínimo. En este estudio se realizaron dos tipos de análisis. El análisis técnico en el cuál se tomó en consideración los caudales medidos periódicamente de una de las fuentes principales de abastecimiento de la demanda de agua del municipio, llamada Quebrada Santa Elena. En el análisis financiero se determinó la rentabilidad económica del proyecto con las variables de Costo Nivelado de la Electricidad (LCOE por sus siglas en inglés), Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). Para poder realizar el análisis técnico se calculó la demanda de energía eléctrica de la población del Negrito, Yoro al año 2021, que ayudó a determinar la cantidad de habitantes del municipio que serían beneficiados por el proyecto. Se analizaron dos tipos de microturbinas, las Pelton y Banki-Michell (Crossflow) considerando el caudal promedio y la elevación de la fuente de abastecimiento de agua potable Santa Elena. El diseño del sistema consta de una turbina-generador Pelton de 25 kW marca Forster Hydro Power con un voltaje de salida del generador de 440 V y una vida útil de 25 años. Posteriormente, con los parámetros de diseño definidos se realizaron una

serie de cálculos en donde se obtuvieron como resultado el caudal de diseño de la microcentral, rendimiento de la microturbina, simulación de generación de energía eléctrica con la microturbina seleccionada. La instalación de microturbinas en los sistemas de agua potable puede ser una opción para proyectos de generación de energía eléctrica con fuentes renovables, aprovechando sus rangos de funcionamiento. El suministro de energía eléctrica tiene un impacto positivo en el crecimiento económico, la calidad de la educación y la disminución de la pobreza. Se espera que esta investigación sirva como pauta para futuros proyectos hidroeléctricos en zonas rurales, financiadas por Organizaciones No Gubernamentales.

Palabras claves: *energía eléctrica, microturbina, demanda de energía eléctrica, hidroeléctrico*

ABSTRACT

In Honduras, the beginning of electric power generation through hydraulic technology occurred in 1980 with the construction of the Hydroelectric Power Plant officially named Central Hidroeléctrica Francisco Morazán or commonly known as "El Cajón" with an installed capacity of 300 MW, located in the department of Cortés, Honduras. The use of renewable sources for electricity generation decreases the import of fossil fuels and the damage caused to the environment. There are 298 municipalities in the country and 41 of them are under 50% of the Electrification Rate. Among them, the municipality of Negrito located in the northwest of the department of Yoro in Honduras. The objective of this research is to determine the feasibility of installing micro-turbines in the pipes of the potable water supply system of the municipality of Negrito, Yoro for the generation of electricity, to supply electricity demand with renewable energy sources by promoting sustainable development in the community. The research determined that the potable water system has a water flow that is normally wasted because it is low, which is usually the case with potable water systems in rural areas. However, there are microturbines that have an operating range from 0,0005 m³/s of minimum flow. In this study, two types of analysis were performed. The technical analysis in which the periodically measured flows from one of the main sources of water supply of the municipality, called Quebrada Santa Elena were taken in consideration. In the financial analysis, the economic profitability of the project was determined with the variables of Levelized Cost of Electricity (LCOE), Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR). In order to do the technical analysis, the electricity demand of the population of Negrito, Yoro was calculated for the year 2021, which helped determine the number of habitants that would benefit from the project in the municipality. Two types of microturbines were analyzed taking into consideration the average flow rate and the elevation of the source of potable water Santa Elena., the Pelton and the Banki-Michell (Crossflow). The design of the system consists of a Forster Hydro Power 25 kW Pelton turbinegenerator with a 440 V output voltage from the generator and a lifetime of 25 years. Subsequently, with the design parameters defined, a series of calculations were made in which the design flow rate of the power plant and performance of the microturbine were obtained as a result, the simulation

of power generation for the microturbine selected was executed in this stage. The installation of microturbines in potable water systems can be an option for electricity generation projects with renewable sources, taking advantage of their operating ranges. The supply of electricity has a positive impact on economic growth, the quality of education and the reduction of poverty. The desire is for this research to serve as a guideline for future hydroelectric projects in rural areas, funded by Nongovernmental Organizations.

Palabras claves: *electrical energy microturbine, electricity demand, hydroelectric*

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	3
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA	7
2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	7
2.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	8
2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	9
2.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	9
2.5.1 OBJETIVO GENERAL	10
2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
III. MARCO TEÓRICO	13
3.1 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	13
3.1.1 COSTOS DE PROYECTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR TECNOLOGÍA.....	15
3.1.2 SECTOR ELÉCTRICO MUNDIAL	17
3.1.3 SECTOR ELÉCTRICO DE HONDURAS	18
3.1.4 TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN HONDURAS	21
3.2 ENERGÍA HIDRÁULICA.....	22
3.2.1 DEFINICIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA.....	22
3.2.2 CLASIFICACIÓN DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	24
3.2.3 MACROENTORNO DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA	26
3.2.4 MICROENTORNO DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA.....	27
3.3 PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS.....	28
3.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS.....	28
3.3.2 MICRO PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS	29
3.3.3 PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS CONECTADOS A LA RED.....	29
3.3.4 APLICACIONES DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO CONECTADO A LA RED	30
3.3.5 PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS AISLADOS.....	30
3.4 MICROTURBINAS	31
3.4.1 DESCRIPCIÓN DE MICROTURBINAS	31
3.4.2 MICROTURBINAS PELTON	33
3.4.3 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA MICROTURBINA PELTON	33

3.4.4	COMPONENTE UTILIZADOS PARA LA INSTALACIÓN DE MICROTURBINA PELTON	33
3.4.5	PARÁMETROS NECESARIOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA MICROTURBINA PELTON	34
3.4.6	MICROTURBINAS CROSSFLOW	35
3.4.7	MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA MICROTURBINA CROSSFLOW.....	35
3.4.8	COMPONENTE UTILIZADOS PARA LA INSTALACIÓN DE MICROTURBINAS CROSSFLOW	36
3.4.9	PARÁMETROS NECESARIOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA MICROTURBINA CROSSFLOW	36
3.5	CONTEXTO GENERAL DEL NEGRITO, YORO.....	37
3.5.1	ASPECTO POBLACIONAL.....	38
3.5.2	ASPECTO SOCIOECONÓMICO	39
3.5.3	ASPECTO AMBIENTAL Y ECOLÓGICO.....	39
3.5.4	COBERTURA Y ACCESO A ELECTRICIDAD DEL DEPARTAMENTO DE YORO.....	39
3.5.5	DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO	41
IV.	METODOLOGÍA	43
4.1	ENFOQUE.....	43
4.2	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	43
4.2.1	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	44
4.2.2	VARIABLES DEPENDIENTES.....	48
4.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS	50
4.3.1	ENTREVISTAS/REUNIONES.....	50
4.3.2	GOOGLE EARTH.....	50
4.3.3	EXCEL.....	51
4.4	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	51
4.5	METODOLOGÍA DE ESTUDIO	51
4.5.1	BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN	51
4.5.2	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	52
4.5.3	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	54
4.5.4	SIMULACIONES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	54
4.5.5	VIABILIDAD TECNO-FINANCIERA.....	54
4.6	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	56
V.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	57
5.1	PRONÓSTICO DE LA POBLACIÓN Y DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL NEGRITO, YORO	57
5.2	FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	64

5.3	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	64
5.4	ESTUDIO DE VIABILIDAD TECNO-FINANCIERA.....	69
5.4.1	ANÁLISIS TÉCNICO.....	69
5.4.2	SUGERENCIAS PARA ASEGURAR LA VIABILIDAD TÉCNICA DEL PROYECTO.....	76
5.4.3	ANÁLISIS FINANCIERO.....	79
VI.	4CONCLUSIONES	84
VII.	RECOMENDACIONES	87
VIII.	APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN.....	88
IX.	EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL / TRABAJO FUTURO	89
X.	BIBLIOGRAFÍA	90
XI.	ANEXOS	94

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Cobertura de Energía Eléctrica Mundial	3
Ilustración 2- Esquema Conceptual de Sistema de Agua Potable previo a la Instalación de la Microcentral Hidroeléctrica	11
Ilustración 3- Esquema Conceptual de Sistema de Agua Potable posterior a la Instalación de la Microcentral Hidroeléctrica	11
Ilustración 4. Sistema de suministro de agua para Barrio las Mesetas y Barrio Arriba, El Negrito, Yoro	12
Ilustración 5. Sistema de suministro de agua para Barrio las Mesetas y Barrio Arriba, El Negrito, Yoro posterior a la Instalación de la Microcentral	12
Ilustración 6. Transformación de la energía	14
Ilustración 7. Generación de energía eléctrica mundial por fuente de energía	17
Ilustración 8. Actores Clave del Sector Eléctrico en Honduras	18
Ilustración 9. División del sector eléctrico en Honduras	19
Ilustración 10. Energía Eléctrica Neta Generada en el Sistema Interconectado Nacional por fuente de energía	21
Ilustración 11. Transformación de la energía en Represas Hidroeléctricas	23
Ilustración 12. Matriz Energética Mundial 2020	26
Ilustración 13. Vista interior de la carcasa de microturbina Pelton	34
Ilustración 14. Ubicación del Municipio del Negrito, Yoro, Honduras	38
Ilustración 15. Suministro de energía eléctrica por viviendas a partir de tipo de sistema eléctrico	41
Ilustración 16- Esquema metodológico de la Investigación.	43
Ilustración 17. Efecto de variables dependientes sobre variables independientes.	44

Ilustración 18. Crecimiento poblacional del Negrito, Yoro (1940-2013)	59
Ilustración 19. Crecimiento del consumo de energía eléctrica al día por persona en Honduras (2015-2019)	62
Ilustración 20. Curva de duración de caudales de la Quebrada Santa Elena, (2013–2020)	67
Ilustración 21. Curva de Duración de Potencia Teórica de la Quebrada Santa Elena	69
Ilustración 22. Selección de Microturbina	71
Ilustración 23. Eficiencia de Turbina Pelton en función del caudal	72
Ilustración 24. Generación de energía eléctrica mensual en kWh	74
Ilustración 25- Generación de Energía Eléctrica respecto a la Demanda de Energía Eléctrica mensual	75
Ilustración 26. Generación de energía eléctrica mensual en kWh en escenario viable	78
Ilustración 27. Período de recuperación de la inversión (escenario Sin Financiamiento)	82
Ilustración 28. Período de recuperación de la inversión (escenario Con Financiamiento)	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Índice de Pobreza del Departamento de Yoro	8
Tabla 2. Generación de energía eléctrica por tipo de fuente.....	13
Tabla 3. Costos de proyectos por tipo de tecnología	16
Tabla 4. Suministro de energía eléctrica por empresa distribuidora.....	20
Tabla 5. Estructura de tarifa de energía eléctrica y alumbrado público	22
Tabla 6. Categorización de Centrales Hidroeléctricas	24
Tabla 7. Centrales Hidroeléctricas en Honduras.....	27
Tabla 8. Clasificación de Microhidroturbinas.....	32
Tabla 9. Rangos de aplicación de Microturbinas Pelton	34
Tabla 10. Rangos de aplicación de microturbinas CrossFlow	37
Tabla 11. Principales Actividades Económicas del Negrito, Yoro.....	39
Tabla 12. Parámetros de la microturbina.....	53
Tabla 13. Parámetros del generador eléctrico	53
Tabla 14. Parámetros de entrada de estudio de viabilidad tecno-financiera.....	55
Tabla 15. Parámetros de salida de estudio de viabilidad tecno-financiera	55
Tabla 16- Cronograma de Actividades.....	56
Tabla 17. Historial poblacional del municipio del Negrito Yoro (1940-2013)	58
Tabla 18. Pronóstico de la población del municipio del Negrito, Yoro (2015-2021) ...	60
Tabla 19. Estadística histórica de consumo per cápita.....	61
Tabla 20. Pronóstico del consumo de energía eléctrica al día por persona en Honduras (2020-2021).....	63

Tabla 21. Pronóstico de la población y demanda de energía eléctrica total al año 2021	63
Tabla 22. Datos de la Fuente de Abastecimiento Santa Elena	64
Tabla 23. Datos de caudales de aforo periódicos [l/s]	65
Tabla 24. Resultados de datos generales de caudal de la Fuente de Abastecimiento Santa Elena en [l/s]	65
Tabla 25. Frecuencias y duración de caudales [l/s]	66
Tabla 26. Datos para cálculo de Duración de Potencia	68
Tabla 27. Matriz de Decisión para tipo de microturbina	70
Tabla 28. Datos Generales	73
Tabla 29. Datos de caudal promedio por mes para cálculo de potencia de turbina y generador	73
Tabla 30. Pronóstico de la población beneficiada del Negrito, Yoro por el proyecto de generación de energía eléctrica	76
Tabla 31. Caudales mínimos para abastecer el 50% de la demanda de energía eléctrica del Negrito, Yoro	76
Tabla 32. Datos de caudal promedio por mes para cálculo de potencia de turbina y generador	77
Tabla 33. Población beneficiada del Negrito, Yoro por el proyecto de generación de energía eléctrica	78
Tabla 34. Presupuesto de inversión inicial del proyecto [Lempiras (L)]	79
Tabla 35. Parámetros de entrada ingresados	80
Tabla 36- Costo Nivelado de la Electricidad	81
Tabla 37. Parámetros de salida sin financiamiento	81
Tabla 38. Parámetros de salida con financiamiento	82

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula de número de revoluciones específicos.....	36
Ecuación 2. Fórmula de Valor Presente Neto (VAN)	48
Ecuación 3. Fórmula de Tasa Interna de Retorno (TIR).....	49
Ecuación 4. Fórmula de Costo Nivelado de la Electricidad (LCOE).....	50
Ecuación 5. Regresión lineal de la población	59
Ecuación 6. Regresión lineal del consumo de energía eléctrica al día por persona	62
Ecuación 7. Fórmula para potencia en condiciones ideales.....	67
Ecuación 8. Fórmula para energía eléctrica en condiciones ideales	68
Ecuación 9. Potencia de Turbina.....	72

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1- Ley de Promoción a la Generación de Energía Eléctrica con Recursos Renovables	94
Anexo 2- Alumbrado Utilizado	95
Anexo 3- Energía para cocinar	95
Anexo 4- Energía Eléctrica Renovable y No Renovable Generada en el Sistema Interconectado Nacional	96
Anexo 5- Actividad Económica	96
Anexo 6- Hidráulica Estatal.....	97
Anexo 7- Población Total al año 2013 en el Negrito, Yoro	97
Anexo 8- Eficiencia de Turbina Pelton	98

LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO

BELCO	Bonacco Electric Company
CASA DE MÁQUINAS	Estructura en la que se realiza la instalación, protección y conexión de las turbinas
CREE	Comisión Reguladora de Energía Eléctrica
EEH	Empresa Energía Honduras
EMBALSE	Depósito artificial de agua, construido generalmente cerrando la boca de un valle mediante una presa, que retiene las aguas de un río o de la lluvia para utilizarlas para riego, abastecer poblaciones o para producción de energía eléctrica
ENDEV	Energizing Development
ENEE	Empresa Nacional de Energía Eléctrica
ENEE	Empresa Nacional de Energía Eléctrica
FHIA	Fundación Hondureña de Investigación Agrícola
FV	Fotovoltaico
GPM	Galones por minuto
IAE	Índice de Acceso a la Electricidad
ICE	Índice de Cobertura Eléctrica
INE	Instituto Nacional de Estadística
INELEM	Inversiones Eléctricas de la Mosquitia
kW	Unidad de potencia kilowatt = 1000 Watts
kWh	kilowatt-hora
LCOE	Levelized Cost of Electricity (Costo nivelado de la electricidad)
Msnm	Metros sobre el nivel del mar

O&M	Operación y Mantenimiento
OLADE	Organización Latinoamericana de la Energía
PIR	Proyecto de Infraestructura Rural
PRESA	Muro grueso construido a través de un río, arroyo o canal para embalsar agua o reconducirla fuera de su cauce
RECO	Roatán Electric Company
SIN	Sistema Interconectado Internacional
TIR	Tasa Interna de Retorno
UNAM	Universidad Autónoma de México
UPCO	Utila Power Company
VAN	Valor Actual Neto
VOLUTA	Componente en forma de espiral dentro de la cual gira el rodete y recoge el fluido propulsado radialmente por éste, dirigiéndolo hacia la salida

I. INTRODUCCIÓN

La cobertura de energía eléctrica a nivel mundial puede ser considerada como un indicador del desarrollo humano de un sector geográfico, haciendo referencia a una comunidad, ciudad, país o continente.

Según datos de la (International Energy Agency, 2017) alrededor de 1,060 millones de personas aún no tienen acceso a la energía eléctrica, lo cual representa el 14.11% de la población mundial para el año 2017. (Referirse a la ilustración 1)

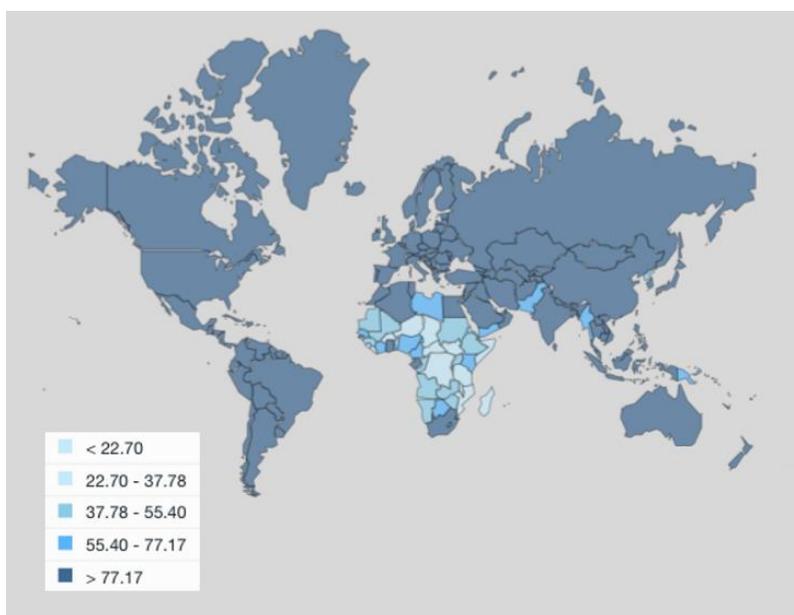


Ilustración 1. Cobertura de Energía Eléctrica Mundial

Fuente: Base de datos de Energía Sostenible para Todos (SE4ALL), 2017

La energía está inextricablemente vinculada a numerosos Objetivos de Desarrollo Sostenible, como la erradicación de la pobreza, la seguridad alimentaria, el agua limpia y el saneamiento, la salud, la educación, la prosperidad, la creación de empleo y el empoderamiento de los jóvenes y las mujeres. Es clara la dependencia que existe hoy en día con la electricidad. El acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos es fundamental para el desarrollo humano. (Naciones Unidas, 2017)

En Honduras la falta del suministro de energía eléctrica a toda la población, tanto urbana como rural, ha afectado de manera indirecta el crecimiento económico, la calidad de educación y la disminución de la pobreza. El suministro de energía eléctrica tiene un impacto positivo en la economía local.

El Gobierno de Honduras realizó un cambio para lograr aumentar el índice de cobertura de energía eléctrica en zonas rurales (electrificadas y aisladas) a nivel nacional. Para lograr esto, se estableció la Ley de Promoción a la Generación de Energía Renovable decreto 183-2013, esta promueve el desarrollo e implementación de tecnologías renovables por medio de incentivos fiscales. Realizando este tipo de proyectos de energía renovable, se fomenta el desarrollo sostenible en las comunidades rurales, empleando métodos de generación de energía eléctrica que no son contaminantes. (Ver Anexo 1)

El deseo del Gobierno de Honduras es revertir la matriz energética utilizando fuentes primarias renovables tales como el sol, el agua, el viento o el calor interno de la tierra. De esta manera, se disminuiría la importación de combustibles fósiles ya que estos son recursos limitados encontrados en puntos específicos del planeta y que con el uso a gran escala ha causado daños al medio ambiente.

En la actualidad, en el Negrito, Yoro, existe una empresa estatal que suministra la energía eléctrica, la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE). El Instituto Nacional de Estadísticas menciona que el Negrito, Yoro tiene una población de 45,363 habitantes, el 26% de habitantes no tiene acceso a la electricidad del sistema público, por ende, no cuentan con alumbrado y en los hogares tienen como principal fuente de energía para cocinar la leña en un 75%. (2013)

La ENEE hizo un plan para el año 2002, el objetivo de este plan es la electrificación de áreas rurales y se conoce como el Plan de Electrificación Social. Pineda Fasquelle menciona que el plan de Nación establece que para el año 2022, el 60% de la demanda nacional será abastecida con fuentes renovables y se implementarán proyectos de energía limpia de pequeña a gran escala. (2015)

Algunos trabajos similares a éste son los siguientes: BCIE realizó una Guía para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable en Honduras donde se explica todo lo necesario para poder desarrollar un proyecto de generación de energía eléctrica de tipo de tecnología renovable y menciona aspectos fundamentales como el sector energético en Honduras, las etapas de desarrollo de un proyecto, información sobre permisos y licencias necesarios y explicación sobre tipos de financiamiento para el proyecto.

Fromm y Perez realizaron una Guía Metodológica para el Establecimiento de Microcentrales Hidroeléctricas (MCH) en áreas rurales en Honduras, la cual es utilizada como herramienta técnica para tener un mejor conocimiento de la generación hidroeléctrica a pequeña escala y definir el procedimiento y consideraciones a tomar en cuenta para determinar la viabilidad técnica de un proyecto de MCH. (2009)

Sierra Vargas et al. realizó una investigación en Colombia acerca de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), enfocándose específicamente en dos aspectos: los tipos de turbinas y generadores eléctricos utilizados en esa categoría de proyectos hidroeléctricos y la legislación colombiana con relación a la generación de energía eléctrica a través de pequeñas centrales. (2011)

El propósito de esta investigación es realizar un estudio Tecno-Económico de la instalación de microturbinas en el Sistema de Agua Potable para generación de energía eléctrica en el municipio del Negrito, Yoro. Para poder asegurarnos de la viabilidad del proyecto se estableció un parámetro técnico que consiste en poder suministrar energía eléctrica al 50% de la población total del Negrito, Yoro y dos parámetros financieros que consisten en tener como resultado final un Valor Actual Neto (VAN) mayor a cero y una Tasa Interna de Retorno (TIR) mayor a la tasa de descuento establecida (12%). De obtener como resultados finales valores que cumplan ambos parámetros técnicos y financieros, el proyecto será considerado viable.

Para realizar el proyecto de investigación se harán los análisis y cálculos en cuatro secciones, esto nos ayudará a tener una mejor comprensión del trabajo. La primera sección consiste en realizar el pronóstico de crecimiento poblacional y de la demanda de energía

eléctrica anual en el Negrito, Yoro. La segunda sección consiste en realizar un análisis de los registros de medición de caudales de aforo de la fuente de abastecimiento de agua potable del municipio (Quebrada Santa Elena) para poder determinar parámetros principales tales como el caudal de diseño y la Microturbina a utilizar. La tercera sección es la simulación de generación de energía eléctrica utilizando un equipo turbina-generator. En la última sección se realiza el presupuesto y se obtiene un valor numérico del costo total del proyecto y finalmente se puede definir la viabilidad del proyecto a partir del análisis técnico y financiero.

Uno de los objetivos principales de este proyecto es la suministración de energía eléctrica en las zonas rurales para poder contribuir al desarrollo de la población del Negrito, Yoro. Lo que hace que este proyecto sea innovador es que se aprovecharía un recurso hídrico normalmente ignorado para generar electricidad y este formaría parte de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Honduras.

Esta investigación está conformada por cinco capítulos. El primer capítulo es el planteamiento del problema donde se define y justifica el problema y se determinan los objetivos que se esperan cumplir de acuerdo con la situación planteada. El segundo capítulo es el marco teórico donde se definen todos los términos generales necesarios para tener una mejor comprensión de los proyectos de generación de energía eléctrica y además se explica el sector eléctrico en Honduras abarcando temas como agentes del mercado eléctrico, capacidad de potencia instalada y sus costos por tipo de tecnología. En el tercer capítulo se determina el tipo de metodología a utilizar y se definen las variables de la investigación y en el cuarto capítulo se presentan los resultados y sus análisis con respecto a los objetivos que se pretenden cumplir. En el quinto y último capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones que se brindan para futuras investigaciones relacionadas al tema de investigación.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se detalla el problema de investigación especificando cuáles son los precedentes y el motivo por el que nos interesa encontrar una solución. De igual manera, se exponen los objetivos y preguntas de investigación.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

El Instituto Nacional de Estadísticas (2013) menciona que la principal fuente de alumbrado en las viviendas de los habitantes del municipio del Negrito, en el departamento de Yoro, es la electricidad del sistema público con 74% y que los hogares tienen como principal fuente de energía para cocinar la leña con un 75%. (Referirse al Anexo 2 y 3)

Esto denota que ocho años atrás el 26% de las viviendas en uso del municipio del Negrito no tenían acceso a energía eléctrica, utilizaban fuentes como las lámparas de gas, velas u ocote. Su fuente principal de energía para cocinar es la leña lo que causa daños al medio ambiente y afecta la salud de las personas al tener exposición directa con el humo producido por la quema de esta. Shaheen et al. menciona que el consumo de leña a gran escala está relacionado con los graves problemas medioambientales, incluida la deforestación, degradación de la tierra, pérdida de biodiversidad, cambio climático y efectos adversos para la salud debido a la contaminación del aire interior. (Shaheen et al., 2016)

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Honduras existe una gran dependencia a las generadoras termoeléctricas y a los combustibles fósiles. Actualmente se siguen investigando alternativas innovadoras para generación de energía eléctrica que no tengan un efecto negativo para el medio ambiente pero no se ha logrado la distribución de la energía eléctrica a todos los municipios en su totalidad, gran parte de esto se debe a que en Honduras existen áreas rurales que debido a su ubicación geográfica y limitados accesos para llegar a no se han podido expandir las líneas de transmisión eléctrica.

2.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El Censo de Población y de Vivienda (2013) menciona que el municipio del Negrito posee un índice de pobreza del 58% ocupando el puesto #7 menos del departamento. (Referirse a la Tabla 1)

Tabla 1- Índice de Pobreza del Departamento de Yoro

Puesto	Municipio del Dpto. de Yoro	Índice de Pobreza
1	Jocón	79%
2	Sulaco	70%
3	Victoria	68%
4	Morazán	66%
5	Yoro	68%
6	Arenal	66%
7	El Negrito	58%
8	Santa Rita	55%
9	Olanchito	56%
10	El Progreso	44%

Fuente: Elaboración propia con datos obtenido de (Instituto Nacional de Estadísticas, 2013)

El alto índice de pobreza en Honduras tiene un gran impacto en la lucha contra el cambio climático, esto debido a la forma de utilización de la energía para las actividades cotidianas como el uso de leña para cocinar o el uso de ocote como sistema de iluminación para las viviendas causando un daño potencial al medio ambiente, tales como la emisión de gases de efecto invernadero que influyen en el deterioro de la capa de ozono.

El suministro total de energía eléctrica del municipio del Negrito, Yoro mediante microturbinas beneficiaría al medio ambiente por el uso de generación de energía limpia y

renovable. También ayudaría a la población brindándoles la alternativa de poder mejorar su estilo de vida haciendo uso de equipos más eficientes en sus hogares. Sería beneficioso para Honduras porque proporcionaría una opción de mejora que influye en el índice de pobreza, medio ambiente y generación de energía eléctrica.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuál es la población en el municipio de Negrito? ¿Cuáles son los antecedentes generales del municipio?
2. ¿Cuál es la demanda energética actual del Negrito, Yoro? ¿Qué porcentaje de la demanda energética se desea abastecer mediante la implementación de las microturbinas?
3. ¿Qué tipo de materiales se utilizan para la construcción de las turbinas Pelton y Crossflow?
4. ¿Cuál turbina es capaz soportar la presión y velocidad del agua del caudal del Negrito, Yoro?
5. ¿Cuánto es la velocidad del agua necesaria para que las turbinas lleguen a su mayor funcionamiento?
6. Tomando en consideración que la turbina Pelton es más utilizada comúnmente en proyectos para sistemas de agua potable, ¿Sería esta la opción más factible económicamente?
7. ¿Cuál sería la potencia necesaria si se desea suministrar el 100% de energía eléctrica para suplir la demanda total del municipio?
8. ¿Es factible determinar la potencia a instalar en base a la demanda del municipio?

2.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO

En el presente capítulo se muestra lo que deseamos lograr con el trabajo de investigación. Además, se establece a dónde deseamos llegar con nuestro proyecto, qué es lo que deseamos probar y determinar qué pasos debemos tomar para lograrlo.

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar la viabilidad técnica y financiera de la instalación de microturbinas en el sistema de agua potable del Negrito, Yoro para la generación de energía eléctrica, para abastecer la demanda eléctrica del municipio con energía renovable, promoviendo el desarrollo sostenible en la comunidad.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la demanda de energía eléctrica a suplir.
- Determinar el potencial hidroeléctrico que disponemos para la generación de energía eléctrica por medio de caudales de aforo medidos periódicamente.
- Diseñar la planta hidroeléctrica conteniendo potencia nominal en watts, número de turbinas a instalar, ubicación de casa de máquinas, diagrama unifilar y diseño en 3D de la turbina mediante Solidworks.
- Determinar la viabilidad técnica basado en el abastecimiento del 50% de la demanda de energía eléctrica.
- Determinar a qué porcentaje de la población del Negrito, Yoro cubrirá nuestro proyecto.
- Determinar la viabilidad financiera en base a una TIR mayor a la tasa de descuento definida (12%) y un VAN del proyecto mayor a cero.

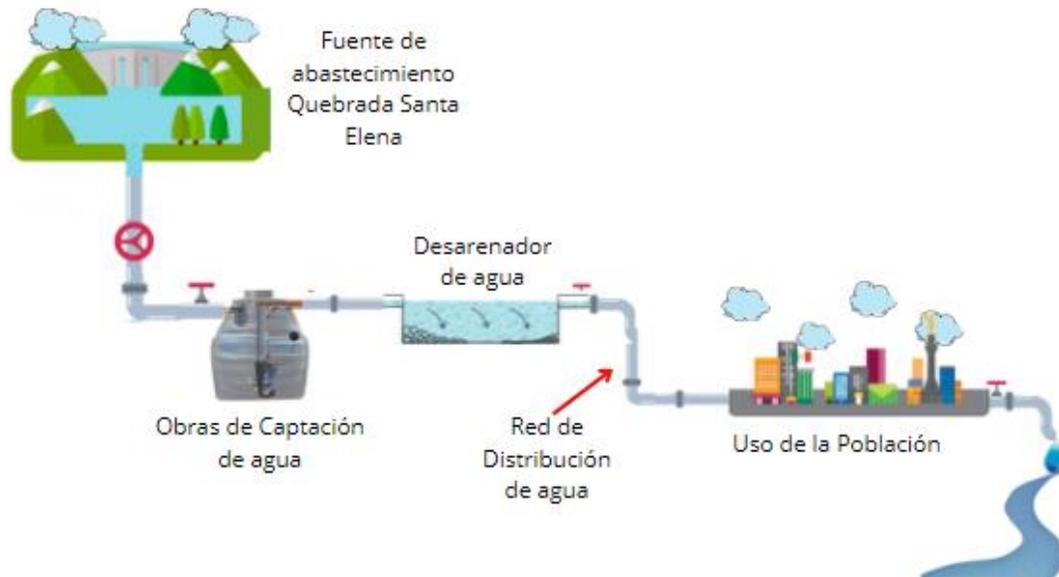


Ilustración 2- Esquema Conceptual de Sistema de Agua Potable previo a la Instalación de la Microcentral Hidroeléctrica

Fuente: Elaboración Propia

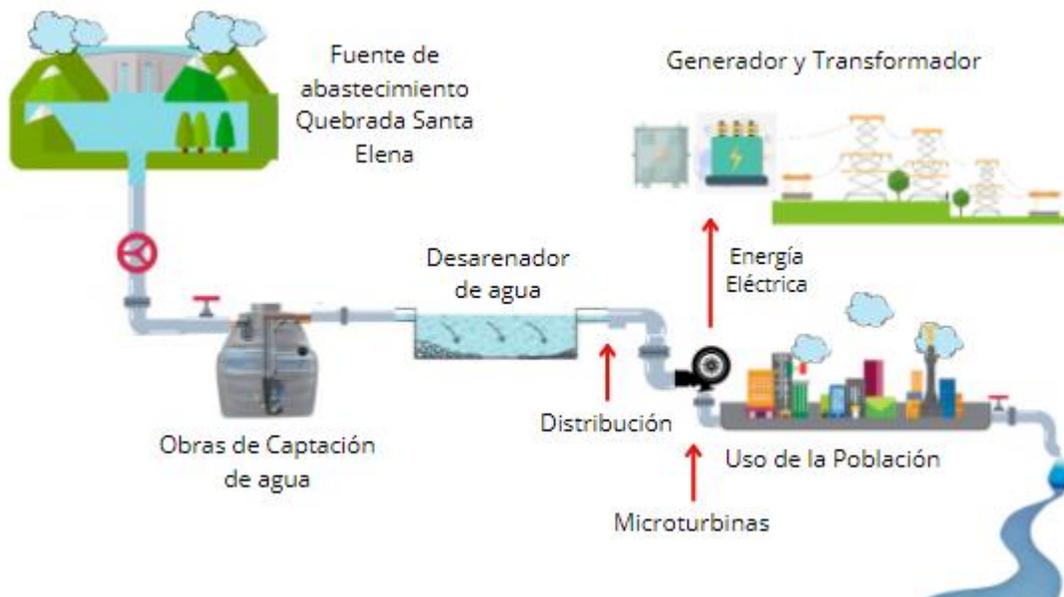


Ilustración 3- Esquema Conceptual de Sistema de Agua Potable posterior a la Instalación de la Microcentral Hidroeléctrica

Fuente: Elaboración Propia

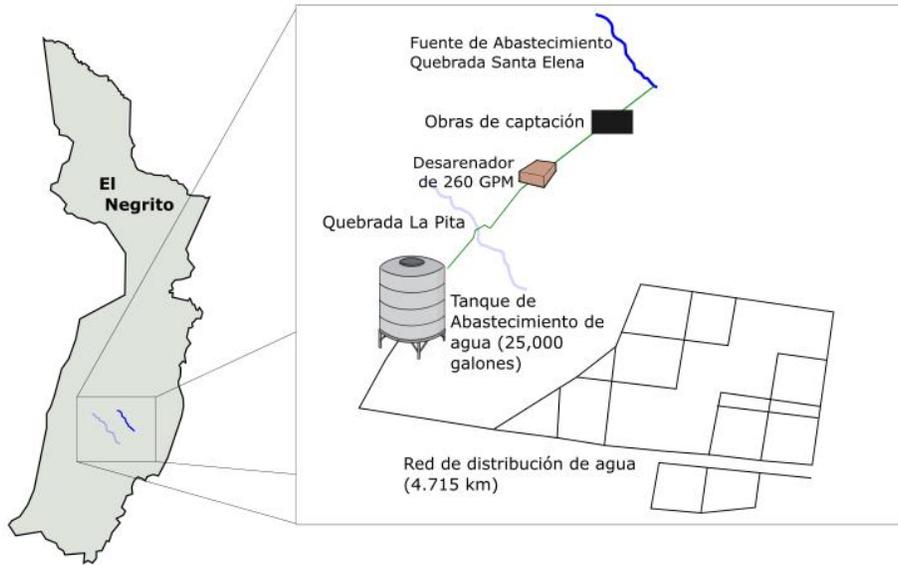


Ilustración 4. Sistema de suministro de agua para Barrio las Mesetas y Barrio Arriba, El Negrito, Yoro

Fuente: Elaboración Propia

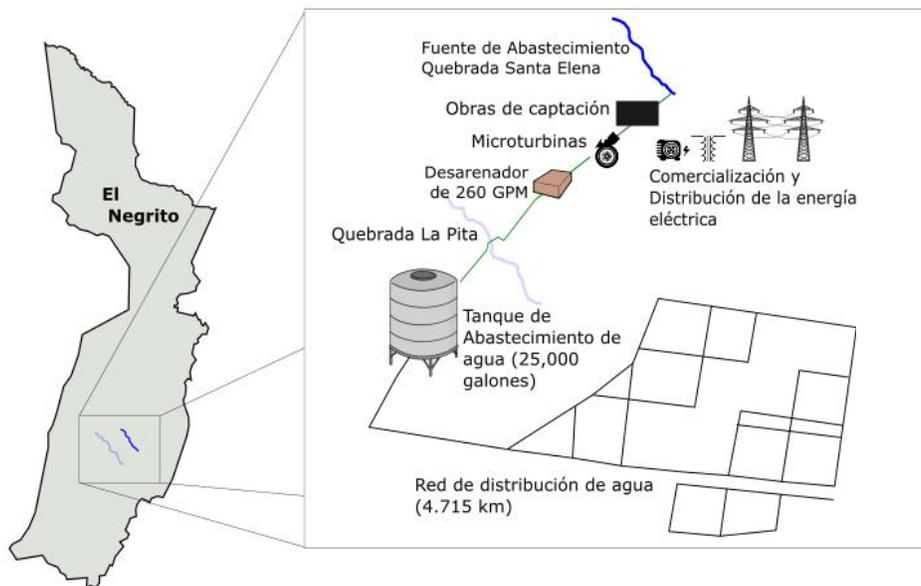


Ilustración 5. Sistema de suministro de agua para Barrio las Mesetas y Barrio Arriba, El Negrito, Yoro posterior a la Instalación de la Microcentral

Fuente: Elaboración Propia

III. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se expone el conjunto de temas relacionados al proyecto de investigación. Detallando datos demográficos, análisis mundial y regional del sector eléctrico y conceptos que sustenten la investigación.

3.1 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Según la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) podemos definir la generación de energía eléctrica como la transformación de cualquier forma de energía (mecánica, térmica, química, mareomotriz, cinética, potencial) en energía eléctrica.

La generación de energía eléctrica puede ser por medio de tecnología renovable y no renovable. Las renovables son las que tomamos a partir de fuentes naturales inagotables capaces de regenerarse por medios naturales. Las no renovables son las que tomamos a partir de fuentes que encontramos en la naturaleza que son limitadas y una vez consumidas en su totalidad no pueden ser sustituidas. (Referirse a la Tabla 2)

Tabla 2. Generación de energía eléctrica por tipo de fuente

Fuentes No Renovables	
Petróleo	A partir de la quema de estos combustibles fósiles se genera calor suficiente para evaporar el fluido, causar movimiento en la turbina y convertirla en energía eléctrica mediante un generador. Esta es la más utilizada a lo largo de la historia.
Carbón	
Gas natural	
Fuentes Renovables	
Energía solar	Convierten luz solar en corriente eléctrica mediante celdas solares integradas en módulos fotovoltaicos.
Energía hidráulica	Convierte la energía potencial en energía mecánica a través de una turbina y mediante un generador se convierte en energía eléctrica.
Energía eólica	Convierte la energía proveniente del movimiento del viento mediante un aerogenerador en energía eléctrica.

Energía geotérmica	Extrae la energía calórica proveniente del núcleo de la tierra para producir vapor que mueva las turbinas y mediante un generador convertirla en energía eléctrica.
Energía biomásica	Mediante combustión proveniente de plantas o sus derivados se obtiene vapor que mueve las turbinas y mediante un generador se convierte en energía eléctrica.

Fuente: Elaboración propia a partir de Guía para el desarrollo de proyectos de energía renovable en Honduras, 2010.

Como podemos observar en la Ilustración 6, de acuerdo con la fuente de energía primaria utilizada y mediante tecnología de conversión podemos obtener distintos tipos de centrales generadoras (hidráulica, solar fotovoltaica, eólica, nuclear o termoeléctricas).

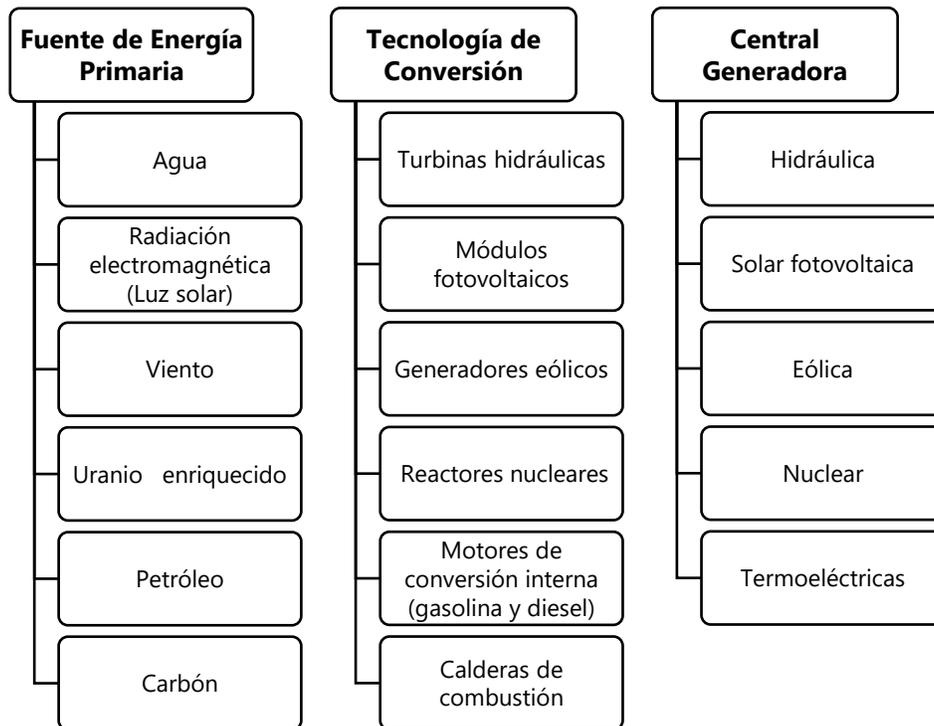


Ilustración 6. Transformación de la energía

Fuente: Elaboración Propia inspirado con información obtenida de Héctor Villatoro, Clase de Energía Termosolar y Fotovoltaica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras, 2021.

“Todas estas centrales, excepto las fotovoltaicas, tienen un ελεμεντο εν χομ |ν: ελ γενεραδορ, constituido por un alternador, movido mediante una τυρβινα que será distinta dependiendo del tipo de energía primaria utilizada.” (FHIA, 2019)

Existe una cadena mediante la cual se realiza la generación de energía eléctrica de manera que ésta pueda llegar hasta el usuario final y se divide en los siguientes procesos:

- 1. Generación:** proceso de conversión de energía de cualquier forma alterna a energía eléctrica.
- 2. Transmisión:** proceso mediante el cual la energía eléctrica se transfiere, generalmente a grandes distancias mediante líneas de transmisión que van desde el punto de generación hasta la zona de entrega determinada.
- 3. Distribución:** proceso mediante la energía eléctrica es suministrada a diferentes puntos de utilización.
- 4. Comercialización:** en este punto la energía eléctrica es transformada en otro tipo de energía en forma de luz, calor o energía mecánica y en el cuál se paga una tarifa.

3.1.1 COSTOS DE PROYECTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR TECNOLOGÍA

Los costos de proyectos de generación de energía eléctrica están conformados por costos fijos (O&M y seguros anuales) y por costos variables (costos de combustible).

La Tabla 3 muestra datos relevantes acerca de los costos de proyectos de generación de energía eléctrica por tecnología, especificando dimensiones técnicas y financieras que sean de ayuda para la toma de decisiones con respecto a la inversión de estos proyectos. Esta es una estimación de cuánto se podría llegar a invertir por cada kW instalado en la generadora de energía eléctrica.

Tabla 3. Costos de proyectos por tipo de tecnología

Tecnología	Inversión	Precio de la energía	Tiempo estimado de construcción
	[\$/ kW]	[\$/kWh]	[meses o años]
Hidroeléctrica	2,000 – 3,000	0.0698 – 0.1365	4 años
Eólica	2,000 – 2,500	0.1425 – 0.2384	1 año
Geotérmica	4,000 – 4,500	4.000 – 4.500	2 años
Solar fotovoltaica	4,000 – 6,000	0.15 – 0.45	1 – 6 meses
Biomasa	200 – 1,200	0.0437 – 0.1236	1 año

Fuente: MSc. Franklin Martínez, Clase de Planificación Energética, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras, 2020.

3.1.2 SECTOR ELÉCTRICO MUNDIAL

De acuerdo con informes de OLADE para el año 2019 la generación de energía eléctrica mundial fue de 26,908 TWh en donde se tuvo una participación del 63% por combustibles fósiles, 27% proveniente de fuentes renovables (16% por generación hidroeléctrica, 8% por granjas solares fotovoltaicas, 3% por plantas geotérmicas) y 10% proveniente de generación nuclear. (Referirse a la Ilustración 7)

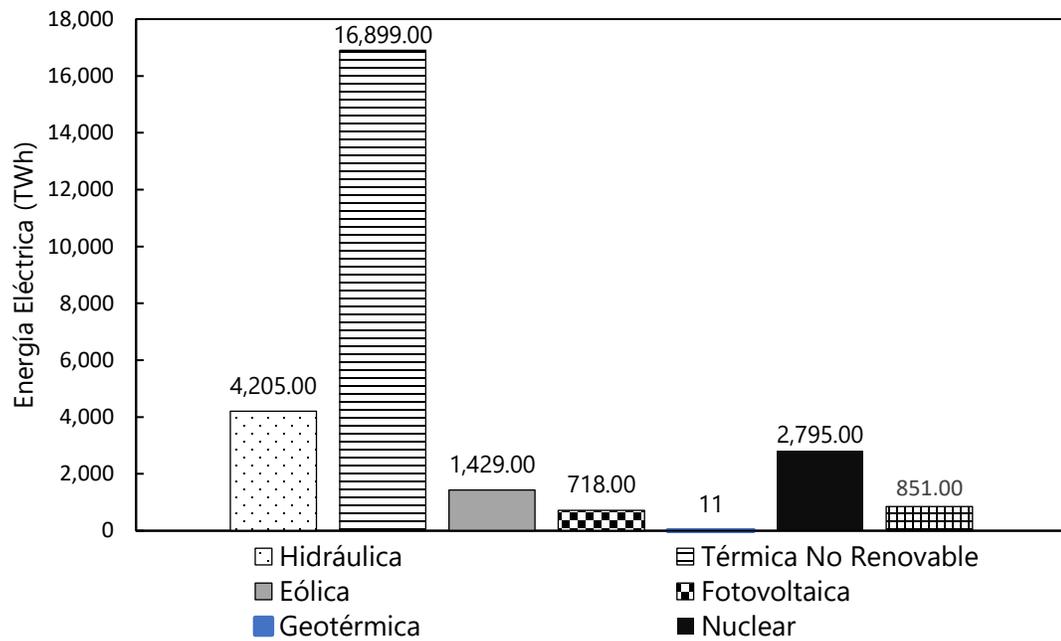


Ilustración 7. Generación de energía eléctrica mundial por fuente de energía

Fuente: Organización Latinoamericana de Energía, 2019

3.1.3 SECTOR ELÉCTRICO DE HONDURAS

En Honduras existen diversos actores claves que se encargan de coordinar, revisar y regular todo lo relacionado al sector eléctrico del país para que éste trabaje de manera eficiente.

Desde la creación de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica en 1957 esta era la encargada de los cinco agentes del mercado eléctrico: generación, transmisión, alumbrado público, distribución y comercialización. Sin embargo, después de la aprobación de la Ley General de la Industria Eléctrica (LGIE) finalizó el monopolio de más de 50 años que sostuvo la ENEE sobre los agentes del mercado eléctrico hondureño. (Referirse a la Ilustración 8)



Ilustración 8. Actores Clave del Sector Eléctrico en Honduras

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la ENEE, 2021

En el año 2016 la Empresa Energía Honduras fue contratada con el propósito de disminuir las pérdidas en el sector eléctrico. De acuerdo con la EEH hay 10,500 km en las redes de transmisión, 32,175 km en las redes de media tensión y 27,465 km en las redes de baja tensión. También se contabilizan 53 subestaciones de bajada de voltaje del sistema de distribución.

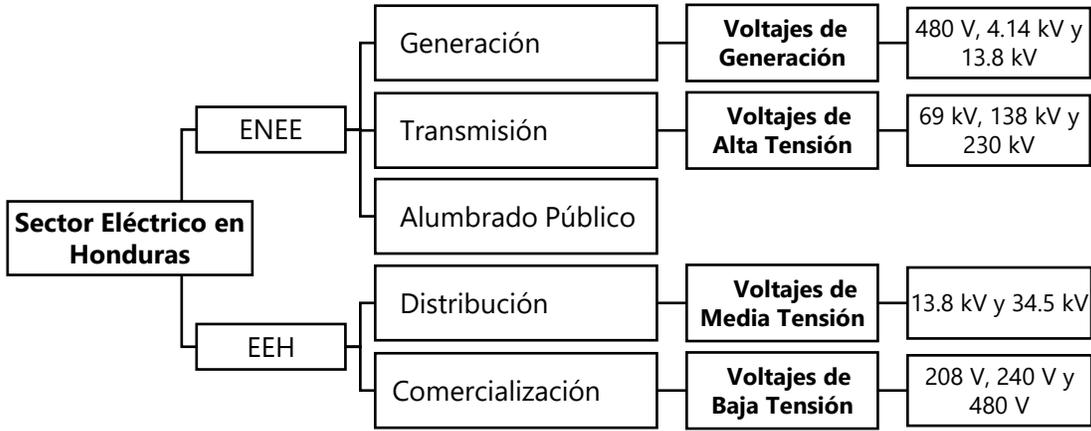


Ilustración 9. División del sector eléctrico en Honduras

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la Empresa Energía Honduras, 2016

Con la aprobación de la LGIE el sector eléctrico en Honduras se volvió un mercado horizontal y surgieron diversas empresas distribuidoras de energía eléctrica a nivel nacional. En Honduras el suministro de energía eléctrica se obtiene a través de dichas empresas, las cuales tienen conexión a la red eléctrica o trabajan de manera aislada. (Referirse a la Tabla 4).

Tabla 4. Suministro de energía eléctrica por empresa distribuidora

Distribuidoras de energía eléctrica	Tipo de sistema eléctrico	Cobertura	Clientes
ENEE	Conexión a la red eléctrica	Todo el territorio hondureño, con excepción del Depto. Gracias a Dios	1,893,427
RECO	Aislado	Roatán	17,459
INELEM	Aislado	Gracias a Dios y La Mosquitia	1,436
UPCO	Aislado	Útila	2,353
BELCO	Aislado	Isla de Guanaja	1,768
Total			1,916,443

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por las empresas distribuidoras de energía eléctrica a nivel nacional.

Honduras es un país que cuenta con una extensa área boscosa, zonas altamente ventiladas y uno de los recursos hidrológicos más grandes de la región centroamericana. A pesar de esto, la implementación del uso de las energías renovables como medio para generación de energía eléctrica en Honduras ha sido un proceso lento. (Referirse a la Ilustración 10)

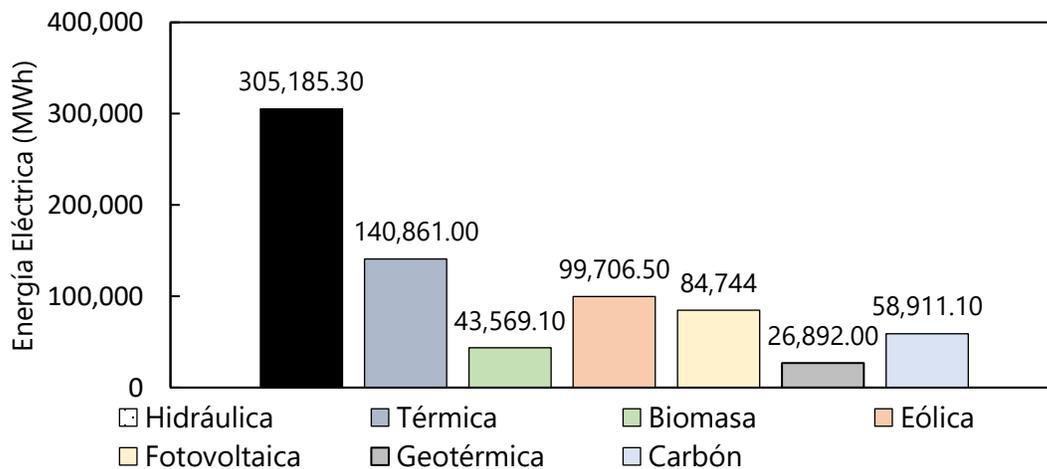


Ilustración 10. Energía Eléctrica Neta Generada en el Sistema Interconectado Nacional por fuente de energía

Fuente: Elaboración Propia a partir de Boletín Estadístico ENEE, 2021

A pesar de estos recursos, hasta la segunda mitad del siglo XX, Honduras, no aprovechaba las fuentes hídricas para generar energía eléctrica. En lugar de ello, las comunidades donde esta existía era proporcionada por las alcaldías utilizando motores de combustible fósiles o centrales térmicas (Bertrand & Álvarez, 2020, p. 2).

Nuestro país a diferencia de otros no cuenta a la fecha con reservas petroleras, lo que hace necesario la búsqueda de nuevas opciones para poder disminuir el considerable uso de plantas termoeléctricas y solventar la demanda energética del país que en nuestro caso cada vez es mayor. (Anexo 4)

3.1.4 TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN HONDURAS

Podemos definir como tarifa de energía eléctrica al precio que los consumidores o usuarios finales deben pagar de manera mensual por el uso de energía eléctrica.

La Ley General de La Industria Eléctrica (2013) dispone que, con el objetivo de reflejar los costos reales de generación a lo largo del tiempo, la CREE debe ajustar el CBG previsto de manera trimestral. El Reglamento para el Cálculo de Tarifas Provisionales establece que para cada ajuste trimestral del CBG, el ODS al completar la liquidación mensual debe enviar a la CREE un documento indicando el costo total real de compra de energía (contratos y oportunidad), costo de potencia firme (contratos y desvíos), y el cálculo de la diferencia entre el costo real del mes y el costo previsto para dicho mes. Luego la CREE revisa el documento y con base en esta información la CREE calcula el costo real de generación de cada mes y la diferencia con el costo de generación previsto para ese mes, y la diferencia acumulada para cada trimestre. (Ver Tabla 5)

Tabla 5. Estructura de tarifa de energía eléctrica y alumbrado público

Servicio	Conexión en la red	Cargo fijo	Precio de la potencia	Precio de la energía
	Tensión	[L/abonado-m]	[L/kW-mes]	[L/kWh]
Servicio Residencial	= < 600 V	-	-	-
Consumo de 0 a 50 kWh/mes		56.28	-	3.3657
Consumo mayor de 50 kWh/mes		56.28	-	4.3796
Baja Tensión		56.28	-	4.4082
Media Tensión	< 115 kV y > 600 V	2,420.23	304.7970	2.6437
Alta Tensión	115 kV	6,050.58	263.1260	2.4725

Servicio	Cargo fijo	Precio de la energía
	[L/lámpara-m]	[L/kWh]
Alumbrado Público	62.29	3.4028

Fuente: Informe Trimestral de Tarifas, 2021

3.2 ENERGÍA HIDRÁULICA

En el presente capítulo se especificará en qué consiste la energía hidráulica, cuál es su clasificación y cuál es el alcance que tiene en la matriz energética mundial.

3.2.1 DEFINICIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA

Ortiz Flórez define a la energía hidráulica como un energético limpio dentro de los energéticos renovables que aporta una quinta parte de la energía eléctrica producida en el mundo; que se distingue a su vez por su carácter multipropósito ya que le permite integrarse a otras actividades como: el regadío, el agua potable, el turismo, la pesca, la navegabilidad,

la reducción de inundaciones, entre otros. Esto hace evidente que la energía hidroeléctrica tiene un papel importante por desempeñar en el futuro, tanto en términos de suministro de energía eléctrica y aprovechamiento de los recursos hídricos. Los cuales se deben realizar en armonía con el desarrollo social, el medio ambiente y el avance técnico económico. (2011)

Para el aprovechamiento de energía hidráulica intervienen cuatro formas de energía: (1) energía potencial donde un fluido en reposo pasa por un canal desde una altura específica y (2) se transforma en energía cinética (fluido en movimiento) al conducirse mediante el canal hacia la turbina, (3) en este momento debido a la velocidad y presión del agua se transforma en energía mecánica rotacional y (4) finalmente se transforma en energía eléctrica por medio de un generador eléctrico. Sin embargo, para que esta energía eléctrica pueda transportarse a grandes distancias es necesario elevar el voltaje por medio de un transformador para disminuir las pérdidas en las líneas de transmisión.

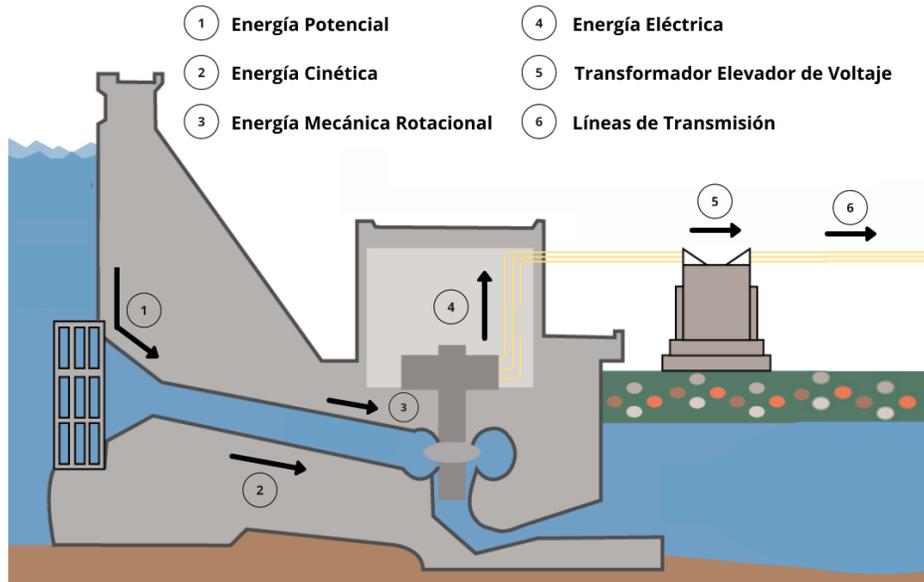


Ilustración 11. Transformación de la energía en Represas Hidroeléctricas

Fuente: Elaboración Propia inspirado en Ilustración de Electrotec

3.2.2 CLASIFICACIÓN DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Para tener una mejor comprensión de la energía hidráulica podemos tener la siguiente clasificación:

a) *Capacidad instalada*

De acuerdo con la potencia instalada en las centrales hidroeléctricas estas pueden clasificarse en las siguientes categorías mostradas en la Tabla 6.

Tabla 6. Categorización de Centrales Hidroeléctricas

Categoría	Potencia Instalada
Pico	Hasta 10 kW
Micro	10 kW – 100 kW
Mini	100 kW – 1 MW
Pequeña	1 MW – 10 MW
Media	10 MW – 100 MW
Grande	Mayor que 100 MW

Fuente: (Energía (OLADE), 1983)

b) *Altura de salto*

La altura de salto es la distancia existente entre el punto de la toma de agua de un embalse/represa hasta la descarga del caudal posterior a que éste haya sido turbinado.

De acuerdo con la longitud entre estos dos puntos podemos clasificar los saltos de pequeña altura los que comprenden de dos a veinte metros de longitud, saltos de mediana altura los de 20 a 150 metros de longitud y saltos de gran altura los que tienen una longitud mayor a 150 metros.

c) *Demanda de agua*

Las centrales hidroeléctricas también se pueden clasificar en función a la demanda que estas pueden abastecer. Por un lado, están las centrales de base en las que su función principal es suministrar energía eléctrica de manera permanente al sistema y por otro lado están las centrales de punta, en las que se aprovecha la potencia firme de las centrales hidroeléctricas y se inyecta la energía al sistema cuando se presentan puntas de consumo en el perfil de carga.

d) *Aprovechamiento del agua*

Existen diversos tipos de centrales hidroeléctricas que se pueden clasificar en función al aprovechamiento de agua que se puede obtener de estas. Existen las centrales de agua fluyente, centrales de regulación y centrales de bombeo.

Se clasifican centrales de agua fluyente en las que se redirige el caudal del río por un canal en el que el agua pasa por un proceso en el que por medio de turbinas y un generador se convierte en energía eléctrica y finalmente el agua desemboca nuevamente en el cauce del río.

Las centrales de regulación son utilizadas cuando el caudal del río es variable y se necesita formar un embalse que nos ayudará a conseguir un caudal regular y asimismo va a funcionar como sistema de almacenamiento. Esto genera que nuestro salto de agua sea de mayor longitud y al momento de generación de energía eléctrica pueda ser adaptado a la demanda energética.

Las centrales de bombeo o de acumulación consisten en la acumulación de energía potencial bombeando agua desde un embalse inferior hacia un embalse superior durante los períodos de demanda baja y posteriormente turbinarla para generación de energía eléctrica durante los períodos de mayor demanda.

3.2.3 MACROENTORNO DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA

Se denomina energía primaria a aquella que no ha pasado por ningún proceso de transformación, este tipo de energía se ve representada en forma de agua, radiación solar, viento, carbón o biomasa. En el proceso de generación de energía eléctrica la energía primaria tiene un proceso de transformación donde se obtiene productos del petróleo, combustibles sólidos, biocombustibles o electricidad a partir de fuentes renovables o combustibles fósiles.

Según la Statistical Review of World Energy la energía hidráulica tiene un gran impacto en la matriz energética mundial, pues el consumo de esta energía primaria aumento 7% en este año. (2020)

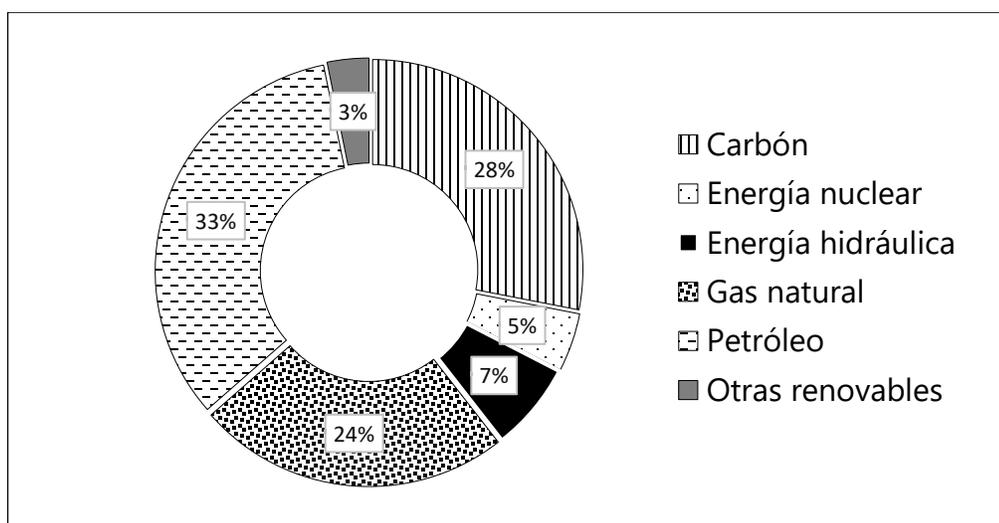


Ilustración 12. Matriz Energética Mundial 2020

Fuente: Elaboración propia a partir de Statistical Review of World Energy (2020)

Cambiar la matriz energética mundial es una tarea pendiente que nos puede permitir un mejor uso de nuestros recursos naturales y como resultado un ahorro en el presupuesto mundial que puede servir para una mejora en el desarrollo de otras áreas de interés.

3.2.4 MICROENTORNO DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA

Cordova Guevara (2015) menciona que la energía hidráulica es una de las mayores fuentes de energía en el mundo y una de las primeras fuentes de energía renovable aprovechadas en Centroamérica para la generación de energía eléctrica. Alrededor del 20% de la energía eléctrica mundial es proveniente de la energía hídrica y en Honduras se estima un potencial hidroeléctrico de aproximadamente 5,000 MW donde solamente ha sido aprovechado el 10.5%. Sin embargo, la desventaja de esto es que las áreas que tienen mayor potencial hidroeléctrico se encuentran lejos de las zonas donde el consumo de energía eléctrica es vital, por lo que es necesario una mayor inversión para las líneas de transmisión.

Tabla 7. Centrales Hidroeléctricas en Honduras

Rango	Categoría	Honduras posee Centrales Hidroeléctricas	
		Estatales	Privadas
Hasta 10 kW	Pico	0	0
10 a 100 kW	Micro	0	0
100 kW a 1 MW	Mini	0	5
1 a 10 MW	Pequeña	1	31
10 MW a 100 MW	Mediana	3	9
Mayor a 100 MW	Grande	2	0

Fuente: Elaboración propia a partir de Boletín Estadístico ENEE, Enero 2021

Para enero del 2021 el 39.7% de la energía eléctrica generada en el Sistema Interconectado Nacional fue proveniente de la energía hidráulica a partir de diversas centrales hidroeléctricas existentes. (Referirse a la Tabla 7)

3.3 PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS

En la presente sección se pretende explicar las características técnicas y consideraciones relevantes acerca de los proyectos hidroeléctricos que nos ayuden a tener una mejor comprensión del funcionamiento de los proyectos hidroeléctricos.

3.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS

De acuerdo con informes del Proyecto Acelerando las Inversiones en Energía Renovable en Centroamérica y Panamá (2009) estos proyectos pueden ser construidos en base a diversas configuraciones, tales como: (1) con o sin embalse (a filo de agua), con o sin túnel y con una relación caída/caudal.

Los proyectos hidroeléctricos poseen los siguientes componentes:

1. Presa y toma de agua
2. Embalse
3. Tubería o canal de conducción (puede incluir túnel)
4. Tubería de presión
5. Casa de máquinas (turbinas, generador y tableros de control)
6. Desfogue
7. Transformador

Fuente: Ing. Alicia Reyes, Clase de Energía Hidráulica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras, 2020.

Algunas consideraciones relevantes acerca de los proyectos hidroeléctricos es que son potencia firme y debido a esto, son capaces de abastecer de manera permanente a la red eléctrica. Otras consideraciones relevantes pueden ser:

- Entre mayor es la escala del proyecto hidroeléctrico, mayores son los impactos ambientales y sociales que estos van a ocasionar sobre la población.

- La etapa de socialización es esencial en los proyectos hidroeléctricos, debido a que mucha gente se opone a la construcción de esto
- Generalmente los recursos hídricos con potencial para la construcción de estos proyectos se encuentra lejos del área urbana donde la energía eléctrica es necesaria, por lo que se invierte más en las líneas de transmisión.

3.3.2 MICRO PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS

Concretamente el sistema capta mediante una bocatoma un determinado caudal de agua en la parte elevada de un terreno y desciende por manguera hasta la parte más baja, donde se ubica el equipo electromecánico, es decir la microturbina acoplada con el alternador. Dicho caudal retorna al cauce inicial, sin contaminarse. A este sistema se le denomina Micro central Hidroeléctrica. (Bohórquez Niño, 2017)

Este tipo de centrales hidroeléctricas, como se menciona más adelante, es más utilizado con la finalidad de ser un sistema aislado para que proporcione algún tipo de mejora a lugares específicos.

3.3.3 PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS CONECTADOS A LA RED

P. Anderson (2013) menciona que el desarrollo de una red eléctrica regional ofrece ejemplo de la forma en que los países centroamericanos han avanzado recientemente hacia una colaboración regional en relación con la generación hidroeléctrica. Aunque se concentran principalmente en la integración económica y de las redes eléctricas, ello podría presentar una oportunidad para la promoción regional de prácticas más ecológica y socialmente sostenibles y también para la protección de la biodiversidad de agua dulce y los servicios ecosistémicos.

Se sabe que el aprovechamiento de agua para la generación de energía es beneficioso para combatir la contaminación ambiental pero también “la energía hidroeléctrica es un contribuyente esencial en la red eléctrica nacional debido a su capacidad para responder velozmente a cargas rápidamente variables o perturbaciones del sistema algo que las plantas de carga base con sistemas de vapor accionados por combustión o procesos nucleares no pueden acomodar.” (US Department of the Interior, 2015)

3.3.4 APLICACIONES DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO CONECTADO A LA RED

Los proyectos hidroeléctricos conectados a la red son los que permiten que un país promueva las energías renovables como su fuente de generación principal. US Department of the Interior (2015) explica que las redes de líneas de transmisión e instalaciones se utilizan para traer electricidad a nosotros en una forma que podemos utilizar. Toda la electricidad producida en una central eléctrica viene primero a través de transformadores que elevan el voltaje para que ella pueda viajar largas distancias a través de líneas eléctricas. (El voltaje es la presión que fuerza una corriente eléctrica a través de un cable.)

En las subestaciones locales, los transformadores reducen la tensión para que la electricidad pueda dividirse y dirigirse a través de un área. Los transformadores en postes reducen aún más la energía eléctrica al voltaje correcto para los aparatos y el uso en el hogar. Cuando la electricidad llega a nuestras casas, la compramos por kilovatios-hora.

3.3.5 PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS AISLADOS

Por lo general, se denominan instalaciones creadas para abastecer la demanda energética en núcleos aislados. Normalmente se encuentran en comunidades rurales, granjas, pequeñas industrias y cualquier zona no interconectada a la red eléctrica. Este tipo de proyectos permiten la electrificación rural en lugares donde no puede llegar la red de la ENEE.

Zifan et al. (2019) afirma que en el marco de las operaciones en las islas (o sistemas aislados), las pequeñas centrales hidroeléctricas y las cargas locales, junto con otros

dispositivos de distribución, han constituido una microred, que ya no está conectada a las redes de distribución. Debido a las fluctuaciones de los generadores distribuidos en las cargas locales, parece difícil encontrar operaciones aisladas sin problemas, ya que el sistema de microred necesita proporcionar el balance de potencia real y reactiva en cualquier momento.

3.4 MICROTURBINAS

Coz et al. menciona que la hidrogenación de energía en pequeña escala -en potencias por debajo de los 500 Kw- constituye una alternativa a la solución del problema de suministro de energía en regiones aisladas, especialmente en los países en vías de desarrollo, como lo sería Honduras, constituyéndose así en una de las bases principales para la electrificación rural. (1996)

Por esto, este tipo de sistema se considera una de las pocas soluciones en las áreas apartadas donde no llega la red ya que se carece este servicio básico. Los sistemas de microgeneración por lo general son aislados, por eso nace la necesidad de realizar sistemas más compactos y utilizarlos hoy en día resulta beneficioso. Hay muchos parámetros para determinar qué tipo de turbina utilizar en centrales hidroeléctricas, pero "en microgeneración es común encontrar turbinas Pelton, Michell-Banki y Axiales, que son las más sencillas de fabricar y abarcarían toda la gama posible de combinación de saltos y caudales." (Sierra Vargas et al., 2011a)

3.4.1 DESCRIPCIÓN DE MICROTURBINAS

La Guía Metodológica para el Establecimiento de Micro Centrales Hidroeléctricas en Áreas Rurales (2009) menciona que independientemente del tipo de turbina, sea de impulso o de reacción, el concepto microhidro se refiere a todas aquellas unidades menores a 100 kW.

Según Mataix (1997) existen parámetros energéticos y constructivos fundamentales para todo tipo de turbina, entre ellos se mencionan:

- HN: caída neta [m]
- N: velocidad de rotación [rpm]
- Q: caudal de diseño [m^3/s]
- D: diámetro nominal rodete [m]
- P_m : potencia mecánica [kW]
- N_s : velocidad específica [-]
- η_T : eficiencia de la turbina [-]

La selección de la turbina adecuada depende de la altura y el caudal disponible combinados con la potencia eléctrica demandada. La clasificación de las microhidroturbinas se puede observar en la Tabla 8.

Tabla 8. Clasificación de Microhidroturbinas

Tipo de clasificación	Microturbina
<i>(a) Por su funcionamiento</i>	
De impulso	Pelton, Flujo Transversal (Banki-Michelle), Turgo
De reacción	Francis, Propelas (Variante Kaplan)
<i>(b) Por su eje</i>	
Horizontal	
Vertical	
<i>(c) Por la velocidad específica del rodete</i>	

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de (Fromm & Peralta Pérez, 2009)

Las hidroeléctricas a pequeña escala mejoran la estabilidad de la red mediante la diversificación del sistema eléctrico y ayudan a reducir la pérdida de energía.

3.4.2 MICROTURBINAS PELTON

Las turbinas Pelton son conocidas normalmente como turbinas de presión o impulso por su método de funcionamiento, este tipo de turbina solo aprovecha la energía cinética del fluido, en otras palabras, aprovechan la velocidad del flujo del agua para girar. Bohórquez Niño (2017) menciona que el diseño de la microturbina Pelton contempla la aplicación de tres rodetes monolíticos de diferentes diámetros para cubrir gran parte de las diferentes características topográficas y de caudal que se presenten.

“La potencia se regula a través de los inyectores, que aumentan o disminuyen el caudal de agua. En las paradas de emergencia se emplea un deflector que dirige el chorro directamente al desagüe, evitando el embalamiento de la máquina. Esto permite un cierre lento de los inyectores, sin golpes de presión en la tubería forzada. Estas turbinas tienen una alta disponibilidad y bajo coste de mantenimiento, además de que su rendimiento es bastante alto (superior al 90% en condiciones de diseño: presenta una curva de rendimiento bastante plana con un rendimiento superior al 80% para un caudal del 20% del nominal).” (Castro, 2006)

3.4.3 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA MICROTURBINA PELTON

El Bronce es material seleccionado para la construcción del rodete dada su alta resistencia a la fricción y su relativo bajo punto de fusión, teniendo en cuenta que no se requiere una gran infraestructura para su procesamiento.

3.4.4 COMPONENTE UTILIZADOS PARA LA INSTALACIÓN DE MICROTURBINA PELTON

Eisenring et al. afirma que la turbina Pelton consta de las siguientes partes: una boquilla, un canal y una carcasa. El canal es en su mayoría una pieza de fundición de acero, que contiene 13% de cromo. En la boquilla la presión del agua se convierte en velocidad. La boquilla consiste en una pieza de nariz que se fija a una curva de la tubería, y una aguja que

se puede mover dentro de la curva de la tubería. La boquilla está hecha de materiales de alta calidad y son fáciles de intercambiar. (1991)

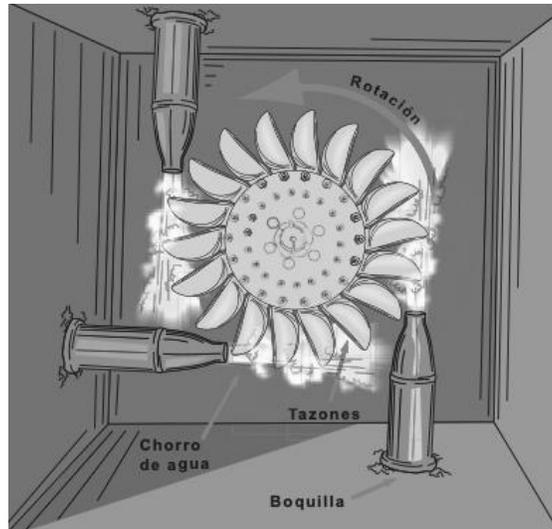


Ilustración 13. Vista interior de la carcasa de microturbina Pelton

Fuente: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), 2009

3.4.5 PARÁMETROS NECESARIOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA MICROTURBINA PELTON

Los rangos de aplicación de las microturbinas Pelton están especificados en la Tabla 9. Estos límites no son obligatorios, pero pueden tomarse como directrices, teniendo en cuenta las condiciones locales de fabricación.

Tabla 9. Rangos de aplicación de Microturbinas Pelton

Rangos de Aplicación	Valores [mínimo-máximo]
Caída [m]	10-300
Caudal mínimo [l/s]	0.5

Potencia de salida [kW]	0.1-50
Diámetro del inyector [mm]	4-80

Fuente: (Eisenring et al., 1991)

3.4.6 MICROTURBINAS CROSSFLOW

Turbina de flujo cruzado es también conocida como turbina de doble impulsión o Banki-Michell. Castro (2006) menciona que este tipo de turbina tiene un campo de aplicación muy amplio, ya que se pueden instalar en aprovechamientos con saltos comprendidos entre 1 y 200 metros con un rango de variación de caudales muy grande. La potencia unitaria que puede instalar está limitada aproximadamente a 1 MW. El rendimiento máximo es inferior al de las turbinas Pelton, siendo aproximadamente el 85%, pero tiene un funcionamiento con rendimiento prácticamente constante para caudales de hasta 1/16 del caudal nominal.

“Su rango de aplicación está comprendido dentro del rango de aplicación de la turbina Francis, a la cual la supera en eficiencia cuando la turbina opera la mayor parte del tiempo a carga parcial, lo cual ocurre en proyectos de pequeñas Centrales Hidroeléctricas donde la turbina absorbe la variación de carga diaria de la demanda. Otra ventaja de la turbina Michell-Banki con respecto a la turbina Francis lo constituye su reducido costo de fabricación.” (Organización Latinoamericana de Energía, 1983)

3.4.7 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA MICROTURBINA CROSSFLOW

Los álabes directrices se pueden producir en fundición y se recomienda utilizar como material bronce al aluminio, pero tampoco se descarta la utilización de aceros inoxidables para turbinas. Chávez (2012) La selección del número de álabes se realizará en base al diámetro y las condiciones de funcionamiento de la turbina, es decir, altura y caudal.

3.4.8 COMPONENTE UTILIZADOS PARA LA INSTALACIÓN DE MICROTURBINAS CROSSFLOW

Consta de un inyector que conduce el flujo hacia el rotor, este rotor está formado por dos discos paralelos que se unen en los bordes por medio de álabes que tienen una curva en forma de un arco circular. Se necesita de un tubo de entrada que es el que se encarga de llevar el flujo de agua y este se regula por los álabes mencionados anteriormente, para finalmente entrar en el rodete de la turbina. Contiene una carcasa que es por donde el fluido sale, ya sea libremente o por medio de aspiración utilizando un tubo que conduce el fluido en dirección a un tanque tranquilizador localizado debajo de la turbina.

3.4.9 PARÁMETROS NECESARIOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA MICROTURBINA CROSSFLOW

Organización Latinoamericana de Energía (1983) determinó que el rango de aplicación de las microturbinas Banki-Michelle lo definen los números específicos de revoluciones N_q y N_s , los cuales se obtienen con las fórmulas:

$$N_q = N \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \quad y \quad N_s = N \frac{P^{1/2}}{H^{5/4}}$$

Ecuación 1. Fórmula de número de revoluciones específicos

Donde:

- N_q : número de revoluciones específicas en función del caudal
- N_s : número de revoluciones específicas
- N : velocidad de giro de la turbina [rpm]
- Q : caudal máximo que fluye por la turbina [m^3/s]
- H : salto neto de la central [m]
- P : potencia al freno de la turbina en C.V.

En la Tabla 10 se muestra el rango de aplicación de la turbina Michell-Banki en comparación con los rangos de aplicación de los otros tipos de turbinas. Cabe señalar que

el rango que se indica para la turbina Michell-Banki se ha definido en base a las limitaciones de su diseño mecánico en el límite superior y la eficiencia en su rango inferior. Estos rangos pueden variar de acuerdo con las experiencias particulares que se presenten.

Tabla 10. Rangos de aplicación de microturbinas CrossFlow

Rangos de Aplicación	Valores [mínimo-máximo]
N_q [-]	18-60
N_s [-]	60-200
Salto máximo [m]	100-200
Diagrama de carga diario	Inferior a 0.5

Fuente: Elaboración propia con información de (Organización Latinoamericana de Energía, 1983)

3.5 CONTEXTO GENERAL DEL NEGRITO, YORO

El municipio del Negrito está ubicado en el departamento de Yoro y fue fundado en el año 1843. Su superficie total de 514.15 km² y actualmente cuenta con una densidad poblacional de 88 habitantes por km².

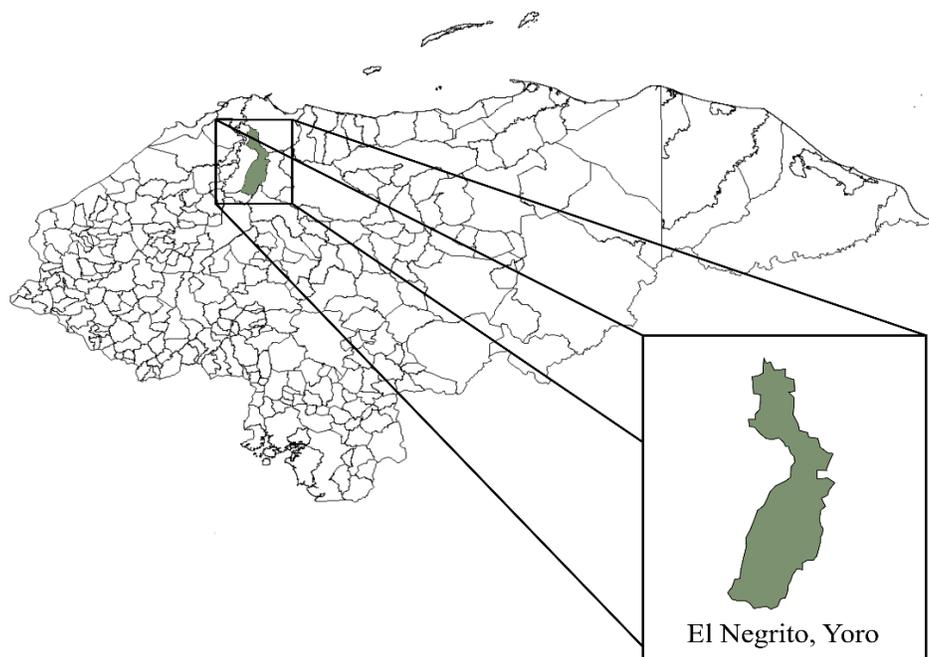


Ilustración 14. Ubicación del Municipio del Negrito, Yoro, Honduras

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1 ASPECTO POBLACIONAL

El Instituto Nacional de Estadística (2013) menciona que la población total del Negrito, Yoro es de 45,363 habitantes, en donde 24,110 habitantes es de sexo masculino y 23,720 es del sexo femenino. Actualmente tiene 27 aldeas, 188 caseríos y en su área urbana están contabilizados 21 barrios con 12,810 viviendas registradas.

El índice de pobreza del Negrito, Yoro es 58%, lo que ocasiona que sus habitantes migren en busca de mejores ofertas de empleo, especialmente los campesinos en busca de tierra para la agricultura, por lo que se contabilizan el 17% de las viviendas registradas desocupadas.

3.5.2 ASPECTO SOCIOECONÓMICO

En el municipio del Negrito, Yoro el índice de pobreza actual ocasiona que sus habitantes migren en busca de mejores ofertas de empleo para poder brindarle a su familia una mejor calidad de vida. Sin embargo, los habitantes que deciden residir en el municipio deciden dedicarse a trabajos relacionados a la agricultura, ganadería, comercio, industrias, construcción o enseñanza. (Referirse a la Tabla 11 y Anexo 5)

Tabla 11. Principales Actividades Económicas del Negrito, Yoro

%	Actividad Económica
65 %	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca
9.1 %	Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos
8.7 %	Industrias manufactureras
4.5 %	Construcción
2.7 %	Enseñanza
10%	Otras actividades

Fuente: Censo de Población y Vivienda, 2013

3.5.3 ASPECTO AMBIENTAL Y ECOLÓGICO

El municipio del Negrito está compuesto por una cuenca grande llamada Pijol y cuatro cuencas pequeñas llamadas Pita, Santa Elena, El Dorado, y El Pate. Se caracteriza por el crecimiento continuo del sector agrícola y forestal, por lo que el uso de su tierra se divide en 10% ganadería, 30% habitacional y 60% para uso exclusivo de la agricultura.

3.5.4 COBERTURA Y ACCESO A ELECTRICIDAD DEL DEPARTAMENTO DE YORO

En el departamento de Yoro están contabilizadas 157,214 viviendas, de las cuales solamente 134,505 tienen acceso a la red de distribución de energía eléctrica de la ENEE. Sin

embargo, se contabilizan 2,014 viviendas que están electrificadas de forma aislada con la ayuda de diversos proyectos y asociaciones tales como:

1. Energizing Development (EnDev) que es una asociación financiada por seis países donantes (Holanda, Alemania, Noruega, Reino Unido, Suiza y Suecia) cuyo objetivo es promover el uso sostenible de los recursos naturales para la generación de energía eléctrica en las zonas rurales y la eficiencia energética en Honduras.
2. Proyecto de Infraestructura Rural (PIR) es un proyecto que se enfoca en reducir la pobreza en las zonas rurales a través de la ampliación del acceso de energía eléctrica para garantizar el crecimiento y desarrollo sostenible de las comunidades.
3. Proyectos de electrificación del sector privado

En la Ilustración 15 podemos observar que el 1% de las viviendas existentes en este departamento son electrificadas a través de sistemas desconectados a la red, las cuáles son divididas en 955 viviendas electrificadas por proyectos solares FV domiciliarios, 112 viviendas electrificadas por proyectos hidroeléctricos a pequeña escala y 947 viviendas electrificadas por empresas del sector privado. (Ver Anexo 6)

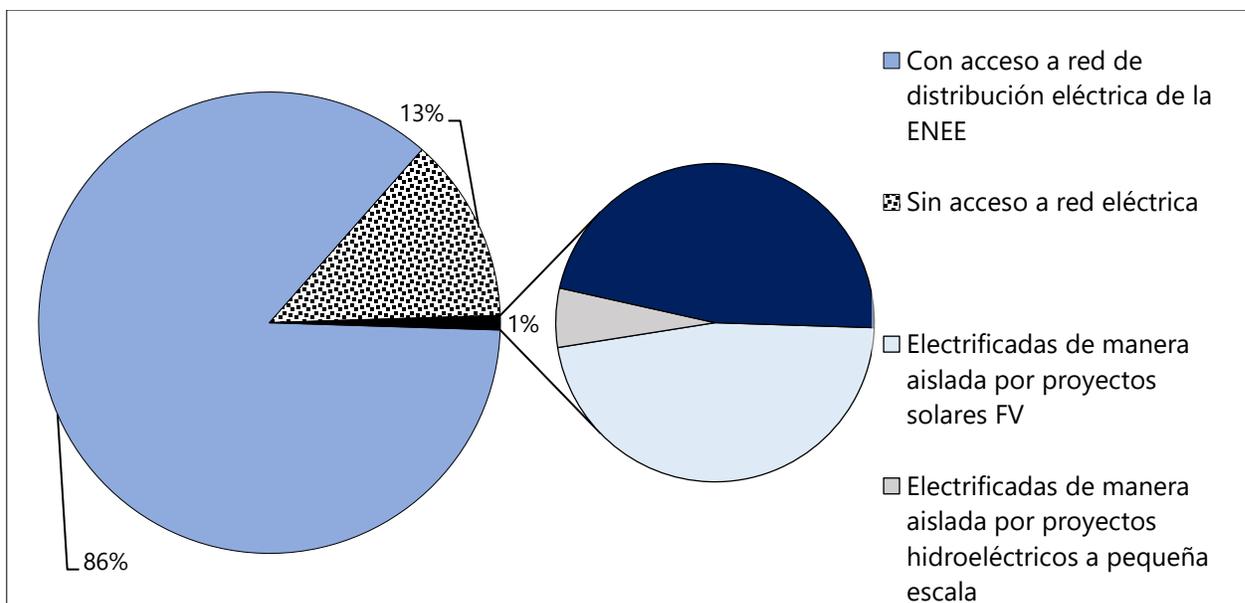


Ilustración 15. Suministro de energía eléctrica por viviendas a partir de tipo de sistema eléctrico

Fuente: Elaboración propia a partir de Informe de Índice de Cobertura y Acceso a la Electricidad en Honduras, 2019.

En el municipio del Negrito, Yoro de las 12,810 viviendas existentes, se contabilizan 11,245 viviendas con acceso a la red de distribución eléctrica y 112 viviendas sin acceso a la red eléctrica.

De acuerdo con el *Índice de Cobertura y Acceso a La Electricidad En Honduras* el Negrito, Yoro posee un Índice de Cobertura Eléctrica (ICE) del 87.78% (determinado mediante el cociente del número de clientes reportados por las empresas distribuidoras y el número de viviendas ocupadas) y un Índice de Acceso a la Electricidad (IAE) del 88.6% (determinado mediante el cociente de clientes reportados por las empresas distribuidoras como de sistemas aislados y el número de viviendas particulares ocupadas) (2019).

3.5.5 DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO

Para iniciar este diagnóstico, lo primero que debemos hacer es definir qué es el agua potable. La potabilización consiste en un proceso en el cual se eliminan contaminantes e impurezas del agua para que se pueda consumir por el ser humano. Hay muchas sustancias

que resultan tóxicas para el ser humano al consumirse, tales como el zinc, el cromo o el plomo. La cantidad de las impurezas puede variar dependiendo de la localización del sistema de agua. En los Barrios de las Mesetas y Barrio Arriba del municipio del Negrito, Yoro se realizó un sistema de distribución de agua que asegura exista un caudal permanente que abastezca el tanque de almacenamiento.

IV. METODOLOGÍA

En este capítulo se presentan procedimientos y métodos que sean de utilidad para definir las variables de investigación.

4.1 ENFOQUE

Es imprescindible estructurar una metodología al realizar una investigación, porque es necesaria para poder conocer nuestras limitantes, analizar la influencia que tienen cada una de nuestras variables independientes sobre la variable dependiente y determinar la relación que existe entre cada uno de los elementos que se encuentran en nuestro marco teórico.

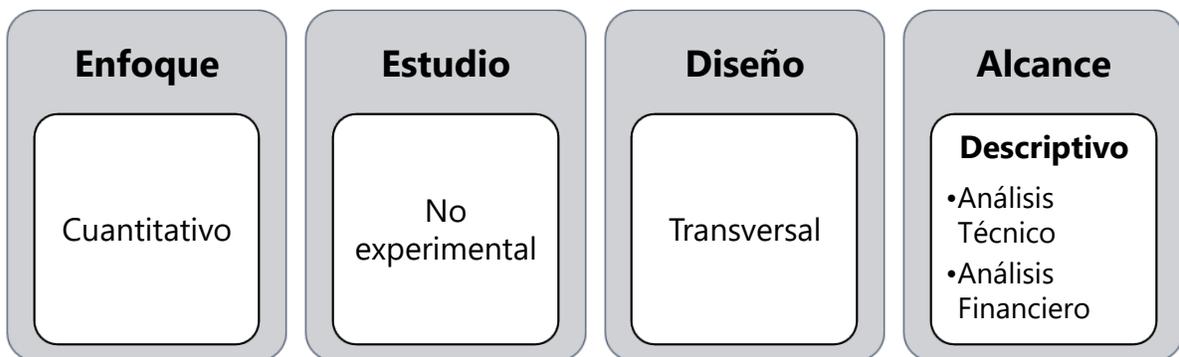


Ilustración 16- Esquema metodológico de la Investigación.

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de (Hernández Sampieri et al., 2014)

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

En esta sección se muestra cada una de las variables dependientes de la investigación, estas nos ayudan a saber dónde queremos llegar con nuestro estudio y a distribuir nuestro enfoque. Todas las variables independientes tienen un grado de afectación que puede ser positivo o negativo respecto a la variable dependiente.

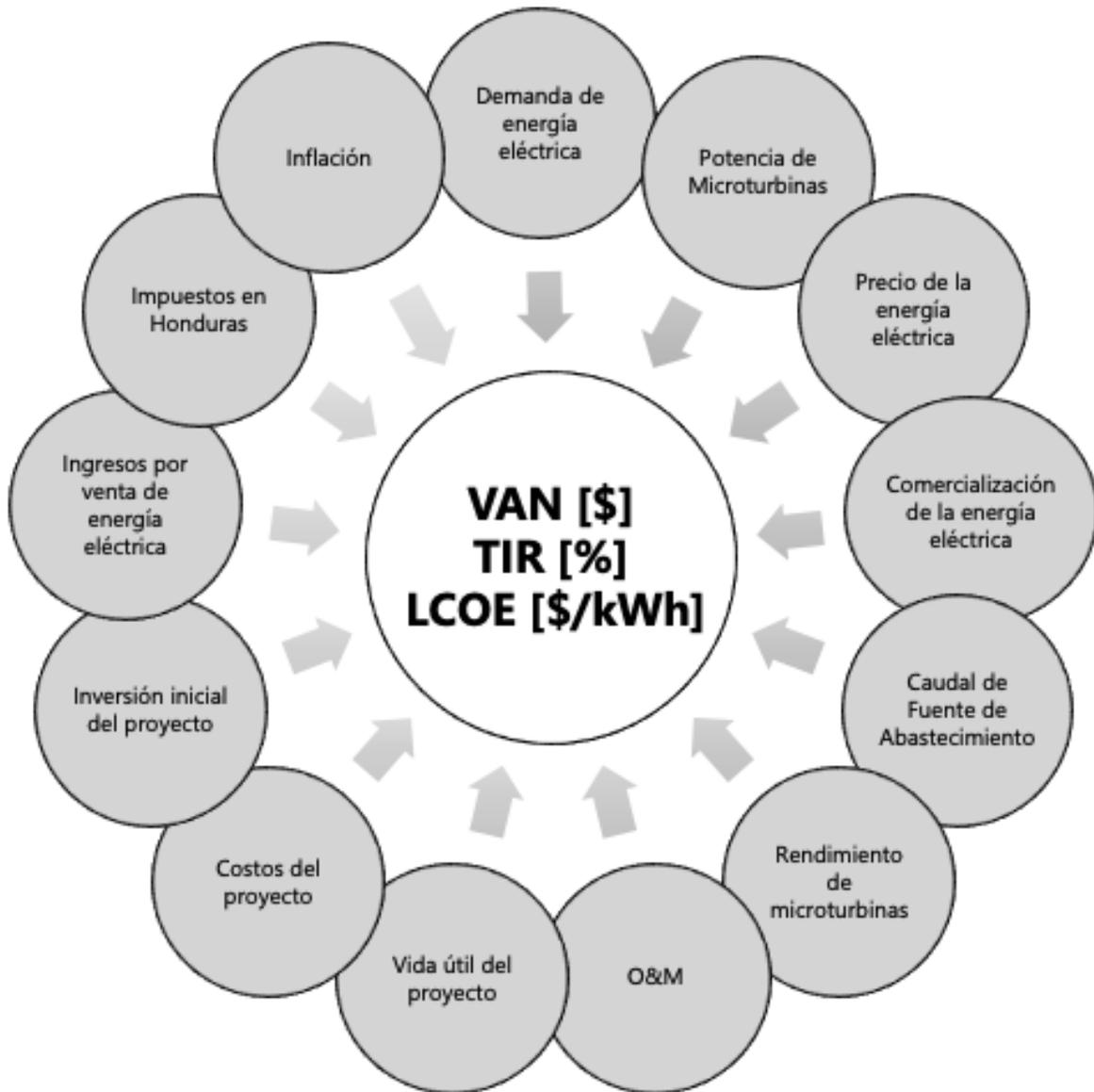


Ilustración 17. Efecto de variables dependientes sobre variables independientes.

Fuente: Elaboración propia

4.2.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

Esta es la variable que se mide y que se puede manipular para poder ver los efectos que se producen en la variable dependiente. Esta también es conocida como la variable causa.

a) *Demanda de energía eléctrica*

La demanda de energía eléctrica es el valor numérico de lo que nuestra planta debe suplir a la población. Esta variable afecta de manera positiva ya que a mayor demanda incrementan nuestras variables dependientes VAN y TIR pero, al mismo tiempo, disminuye el costo nivelado de la electricidad (LCOE). Se expresa en unidades de [kWh].

b) *Potencia de Microturbinas*

La capacidad de potencia de las turbinas a instalar es uno de los parámetros primordiales en esta investigación porque afecta directamente a nuestras variables dependientes. El grado de afectación hacia el LCOE es positivo ya que es un dato que afecta directamente al costo por operación y mantenimiento.

Al diseñar la microcentral podemos escoger una potencia que no sea adecuada para nuestros datos de caudal de agua, esto afectaría a nuestra inversión inicial. Determinando que para el VAN y la TIR tiene un grado de afectación negativo.

c) *Precio de la energía eléctrica*

El precio se determina por medio de un ente regulador que analiza y regula las tarifas de la energía eléctrica pasadas y en base a eso se decide el precio al cual va a ser vendida la energía eléctrica. Esta variable juega un rol importante y tiene un grado de afectación positivo sobre dos de nuestras variables dependientes (Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno) porque es la que impacta en nuestros flujos de efectivo.

Al establecerla debemos tomar en consideración que debe cubrir todos los costos incurridos para producir la energía eléctrica y debe ser suficiente como para lograr tener un margen de ganancia. Se expresa como [\$/kWh].

d) *Comercialización de la energía eléctrica*

En este momento es que se hace llegar la energía eléctrica a las viviendas. Para lograr esto primero se pasa por el proceso de la generación de energía eléctrica, luego es llevada por medio de las líneas de transmisión y por último al sistema de distribución hasta que dicha energía llega hacia el consumidor final.

A pesar de que se depende de los distribuidores de energía y se puede incurrir en gastos para lograr comercializarla. Esta variable tiene una afectación positiva ya que sin ella nunca podríamos lograr que nuestro servicio llegara a sus consumidores designados.

e) *Caudal de Fuente de Abastecimiento de agua*

El caudal es una variable importante para esta investigación porque se analiza en qué puntos se puede realizar la instalación de las microturbinas. Asimismo, es el factor que determina cuánta potencia útil podemos generar.

Esta variable afecta de manera positiva al LCOE ya que va directamente relacionada con la potencia a instalar. Tiene grado de afectación negativo para el VAN y la TIR porque puede incurrir en gastos por modificación en el diseño de la central hidroeléctrica. Se expresa en unidades [m^3/s]

f) *Rendimiento de Microturbinas*

El rendimiento de la turbina es una variable de afectación positiva para el LCOE ya que es un parámetro necesario dentro de su evaluación. Para el VAN y la TIR se considera que tiene una afectación negativa por la repotenciación recomendada al transcurrir la mitad de la vida útil de la central, ya que al pasar de los años se va reduciendo la eficiencia en el generador, resultando en una menor generación de energía eléctrica. Se expresa de manera porcentual. [%]

g) *Operación y Mantenimiento (O&M)*

El costo de O&M conlleva una revisión e inspección para toda la maquinaria dentro de la central cada año. Es permanente para cualquier tipo de generadora de energía renovable, este siendo un costo recurrente, afecta de manera negativa a nuestro VAN, TIR y LCOE.

h) *Vida útil del proyecto*

Según Vásquez et al. la vida útil de una central hidroeléctrica puede ser hasta de 50 años. Esta variable afecta de manera positiva al VAN y la TIR debido a que representa una larga duración del abastecimiento de energía eléctrica en la comunidad. (2015)

Se expresa en [años].

i) *Costos del proyecto*

Los costos del proyecto pueden ser fijos (costo de capital total) o variables (costos por operación y mantenimiento y seguros anuales).

Los costos se muestran como un valor negativo en los flujos de caja. Afectan de manera negativa al LCOE, VAN y la TIR debido a que disminuye los ingresos y aumenta el período de recuperación de la inversión. Se expresa en [Lps] o [\$].

j) *Inversión Inicial de proyecto*

La inversión inicial del proyecto se muestra como un desglose de cada uno de los gastos realizados para poder poner en marcha el proyecto e iniciar operaciones. Afecta de manera negativa debido a que representan un gasto elevado que afecta directamente en las variables dependientes (VAN, TIR y LCOE). Se expresa en [Lps] o [\$].

k) *Ingresos por venta de energía eléctrica*

Afectan de manera positiva al representar una entrada monetaria que va a influir directamente con las variables dependientes, nos permitirá obtener una ganancia. Se expresa en [Lps] o [\$].

l) *Impuestos en Honduras*

Afectan de manera negativa porque a partir del momento en el que se acaba la exoneración de impuestos sobre la renta especificados en el Decreto No. 138-2013 de la Ley General de la Industria Eléctrica se vuelve un costo fijo. Del año 11 en adelante, representa un valor negativo en el flujo de caja. Se expresa como [%].

m) *Inflación*

Esta variable afecta de manera negativa debido a que aumenta porcentualmente la moneda a través del tiempo. Esto significa que nuestro costo nivelado de la electricidad (LCOE) y Costos de Operación y Mantenimiento aumentarán. Al incrementar los costos

O&M, afecta directamente de manera negativa a nuestras variables dependientes Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno. Se expresa como [%].

4.2.2 VARIABLES DEPENDIENTES

Esta es la variable efecto, aquí se pueden ver los resultados que se dan al manipular las variables independientes.

a) *Valor Actual Neto (VAN)*

Baca Urbina (2010) denomina el Valor Actual Neto como el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Este es uno de los puntos donde se determina la rentabilidad económica de toda la inversión. Esta representa una ganancia en caso de ser mayor a cero y una pérdida si el resultado es negativo.

La fórmula que nos permite calcular el VAN (Valor Presente Neto) es:

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{I_n - E_n}{(1 + i)^n}$$

Ecuación 2. Fórmula de Valor Presente Neto (VAN)

Donde:

- VAN= valor presente neto [\$]
- N= número de periodos [-]
- n= periodo de evaluación [-]
- I_n = Ingresos de efectivo [\$]
- E_n = Egresos de efectivo [\$]
- i= tasa de interés [%]

(Puga Muñoz, 2009)

b) *Tasa Interna de Retorno (TIR)*

Baca Urbina (2010) afirma que la Tasa Interna de Retorno es la tasa de descuento por la cual el VPN es igual a cero. Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Se supone que el dinero que se gana año con año se reinvierte totalmente, de ahí proviene la palabra "interna" de su nombre.

La fórmula que nos permite calcular la TIR (Tasa Interna de Retorno) es:

$$TIR = \sum_{n=0}^N \frac{Q_n}{(1+i)^n}$$

Ecuación 3. Fórmula de Tasa Interna de Retorno (TIR)

Donde:

- TIR = tasa interna de retorno [%]
- N= número de periodos [-]
- n= período de evaluación [-]
- Q_n = flujo de caja en el período n [\$]
- i= valor de la inversión inicial [\$]

(Torres, 2020)

c) *Levelized Cost of Electricity (LCOE) o Costo Nivelado de la Electricidad*

Para el estudio técnico-financiero para la instalación de microturbinas se utilizará el Costo Nivelado de la Electricidad o LCOE (Levelized Cost of Electricity) que se obtendrá al final del estudio. Esto mostrará cuánto cuesta producir la energía eléctrica en [\$/kWh] y se calcula con la ecuación 4.

$$LCOE = \sum_{n=0}^m \frac{CC_n + O\&M_n + Fuel\ Cost_n}{EGen_n}$$

Ecuación 4. Fórmula de Costo Nivelado de la Electricidad (LCOE)

Donde:

- LCOE = Costo nivelado de la electricidad [\$/kWh]
- m = vida útil del proyecto [años]
- n = período de evaluación [años]
- CC_n = costo de capital total [\\$]
- O&M = costos por operación y mantenimiento [\\$]
- Fuel Cost = costo por combustible [\\$]
- $EGen_n$ = energía generada [kWh]

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

En el presente apartado serán explicadas las técnicas e instrumentos utilizados con el objetivo de obtener cálculos necesarios para poder estudiar la viabilidad técnica y financiera del proyecto.

4.3.1 ENTREVISTAS/REUNIONES

Se llevaran a cabo entrevistas o reuniones con el personal mediante el que tendremos contacto directo para la solicitud y obtención de datos esenciales que sean de utilidad en nuestra investigación.

4.3.2 GOOGLE EARTH

“Explora imágenes de satélite de todo el planeta, así como edificios 3D e imágenes en relieve de cientos de ciudades.” (*Descripción general – Google Earth, 2021*)

4.3.3 EXCEL

“Microsoft Excel es una hoja de cálculo desarrollado por Microsoft que dispone de herramientas de gráficos, tablas calculares y lenguaje de programación. Éste ha sustituido a Lotus 1-2-3, como el estándar de la industria para hojas de cálculo.” (Microsoft, 2020)

4.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

Nuestra investigación se centra en el municipio del Negrito en el departamento de Yoro, ubicado en la región centro-norte del país. (Referirse a la Ilustración 13)

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

El enfoque de nuestra investigación es del tipo cuantitativo debido a que nuestro estudio se basa en mediciones de las variables definidas dentro de un contexto para posteriormente analizarlas y establecer nuestras conclusiones.

El tipo de estudio es del tipo no experimental ya que, “se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables.” (Hernández Sampieri et al., 2014)

El alcance de nuestra investigación será del tipo descriptivo. De acuerdo con Hernández Sampieri et al éste tiene el fin de detallar como son o como se manifiestan nuestras variables de investigación mediante recolección de datos que especifiquen características y dimensiones de los fenómenos a estudiar. (2014)

Dicha investigación será dividida en el análisis técnico y análisis financiero.

4.5.1 BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

Luego de haber especificado el objetivo general de nuestra investigación se realizó una búsqueda de información necesaria para el análisis del macroentorno detallando su crecimiento a través del tiempo. Asimismo, mediante reuniones y ayuda del personal se

recopilaron datos específicos del microentorno que nos ayudaron a tener una mejor visión de la situación en el municipio del Negrito y se pudo ver la necesidad de este proyecto de generación de energía eléctrica.

4.5.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La investigación consiste en la generación de energía eléctrica en el sistema de agua potable del Negrito, Yoro a partir de una microcentral hidroeléctrica. Esto se pretende realizar mediante el acoplamiento de microturbinas hidráulicas en el bocatoma de la fuente de abastecimiento de agua, la cual es proveniente de la Quebrada Santa Elena.

La clasificación del proyecto hidroeléctrico de esta investigación está dentro de la categoría "micro", los cuales se encuentran en un rango de capacidad de potencia instalada de 10-100 kW de acuerdo a lo mencionado en el capítulo 3.2.2. Para este sistema se calculará el caudal promedio, mínimo y máximo de la fuente de abastecimiento de agua, de esta manera se podrán realizar los respectivos cálculos de duración de caudales que nos ayudará a definir el caudal de diseño para el sistema de generación de energía eléctrica.

Inicialmente la investigación se centró en dos tipos de microturbinas que son utilizadas generalmente para sistemas de agua potable, las microturbinas Pelton y Banki-Michell (Crossflow). Sin embargo, para seleccionar el tipo de microturbina a utilizar se utilizará el gráfico de salto neto [m] versus caudal [m^3/s] de la Ilustración 22 ya que, se obtendrá un resultado más preciso.

Se utilizará una turbina-generador Pelton marca Forster Hydro Power, modelo CJ237-W-45, con una capacidad nominal de 25 kW. En las Tablas 12 y 13 se describen los parámetros técnicos de la microturbina hidráulica y el generador eléctrico a utilizar.

Tabla 12. Parámetros de la microturbina

Modelo	CJ237-W-45
Potencia de salida [kW]	20-50
Tasa de flujo de agua [m ³ /s]	0.01-0.06
Altura de agua [m]	60-180
Eficiencia [%]	80-85
Diámetro de tubería [mm]	200
Velocidad [rpm]	637-1103

Fuente: Hoja técnica microturbina-generator Pelton Forster Hydro Power

Tabla 13. Parámetros del generador eléctrico

Tipo de generador eléctrico	SFW1500
Voltaje de salida [V]	380/400/440/6300
Frecuencia [Hz]	50-60
Velocidad [rpm]	750-1000
Tipo de excitación	Sin escobillas
Tipo de válvula	Mariposa
Material del corredor	Acero inoxidable
Material de la voluta	Acero de carbono

Fuente: Hoja técnica microturbina-generator Pelton Forster Hydro Power

A partir de estos parámetros técnicos se realizará la simulación de generación de energía eléctrica.

4.5.3 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Para cualquier investigación se necesita de variables dependientes e independientes. Se estableció que el LCOE, VAN y la TIR serían nuestras variables dependientes. Siendo el VAN y la TIR nuestros parámetros para la evaluación de factibilidad financiera y el LCOE el parámetro que determinará nuestra viabilidad técnica.

4.5.4 SIMULACIONES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Posteriormente a la selección de las variables de investigación, se procede a realizar la simulación de generación de energía eléctrica. Dicha simulación se realizará a partir de una hoja de cálculo en Excel donde se ingresan datos históricos de caudales aforados [l/s] de la fuente de abastecimiento de agua potable y se obtendrán parámetros que nos ayudarán a calcular datos como:

1. Caudales mínimo, máximo, promedio y de diseño [(l/s) o (m³/s)]
2. Frecuencia absoluta, frecuencia relativa y duración de caudales [%]
3. Potencia útil en condiciones ideales [kW]
4. Energía eléctrica generada en condiciones ideales [kWh]

Dichos datos nos permitirán definir la potencia de entrada de la turbina, la potencia de salida del generador eléctrico y mediante esto se realizará la simulación de generación de energía eléctrica.

4.5.5 VIABILIDAD TECNO-FINANCIERA

Al tener resultados de la simulación y la generación de energía eléctrica a partir de los datos específicos ingresados podemos realizar nuestro análisis tecno-financiero. En donde nos basamos en todos los aspectos generales que afecten el proyecto de investigación tales como la tarifa de energía eléctrica y su incremento anual, la tasa de inflación y la vida útil del proyecto. En la Tabla 14 podemos observar los parámetros de

entrada con sus respectivas unidades que serán utilizados para poder determinar la viabilidad técnica y financiera del proyecto de investigación.

Tabla 14. Parámetros de entrada de estudio de viabilidad tecno-financiera

Capacidad Instalada	[kWp]
Generación de energía eléctrica	[kWh]
Costo de Capital Total	[\$]
Tarifa de energía eléctrica (Año 1)	[\$/kWh]
Incremento de tarifa anual	[%]
Costos por O&M	[\$/kWp]
Seguros anuales	[%]
Tasa de inflación	[%]
Tasa de descuento	[%]
Tasa impositiva ISR	[%]
Vida útil del proyecto	[%]

Fuente: Elaboración propia

Dichos parámetros de entrada serán ingresados de acuerdo con el criterio del diseño con el fin de poder realizar distintas simulaciones para poder observar la variación de los parámetros de salida, los cuáles se pueden observar en la Tabla 15.

Tabla 15. Parámetros de salida de estudio de viabilidad tecno-financiera

Período de recuperación	[años]
Valor Actual Neto (VAN)	[\$]

Tasa Interna de Retorno (TIR)	[%]
LCOE	[\$/kWh]

Fuente: Elaboración propia

4.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En el presente apartado se muestran todas las actividades que se debieron realizar para poder elaborar la investigación. Desde planteamiento del problema de la investigación, hasta la realización del artículo científico. (Referirse a la Tabla 16)

Tabla 16- Cronograma de Actividades

Actividades para la elaboración del proyecto de investigación.	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Introducción										
Planteamiento del Problema										
Marco Teórico										
Recopilación de Datos										
Metodología										
Simulaciones Homer Pro										
Evaluación tecno-económica										
Resultados y Análisis										
Conclusiones										
Recomendaciones										
Artículo Científico										

Fuente: Elaboración Propia

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos a partir de las simulaciones y el análisis técnico y económico, con el objetivo de responder las preguntas de investigación antes expuestas. Los resultados se presentarán en cuatro secciones.

La primera sección será el pronóstico de la población total del Negrito, Yoro y la demanda de energía eléctrica anual al año 2021.

La segunda sección será el análisis de comportamiento de los caudales de aforo para decidir el tipo de turbina a utilizar a partir del nivel de los caudales.

La tercera sección serán los parámetros de diseño para la microcentral y finalmente en la cuarta sección se presentará el análisis de viabilidad tecno-económica del proyecto de investigación. Al finalizar esta sección se enlistarán las limitaciones que se presentaron durante la realización de la investigación.

5.1 PRONÓSTICO DE LA POBLACIÓN Y DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL NEGRITO, YORO

Para realizar el pronóstico de la población y demanda de energía eléctrica se utilizó el método de regresión lineal. De acuerdo con la Facultad de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma de México (UNAM) esta técnica estadística establece una ecuación para estimar el valor desconocido de una variable, a partir del valor conocido de otra variable, (en vez de valores de muchas otras variables) se denomina análisis de regresión simple. Por lo tanto el análisis de regresión lineal simple, es el proceso general de predecir una variable (y) a partir de otra variable (x).

En la Tabla 17 se muestran datos que se obtuvieron del Instituto Nacional de Estadística que muestran la población total del municipio de Negrito, Yoro desde el año 1940 hasta el año 2013. (Referirse al Anexo 7)

Tabla 17. Historial poblacional del municipio del Negrito Yoro (1940-2013)

Año	Población total
1940	4,609
1945	7,873
1950	12,195
1961	11,694
1974	13,061
1988	27,099
2001	35,651
2013	45,363

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, 2013

Se realizó un gráfico a partir del historial poblacional del Negrito, Yoro (Tabla 17), esto sirvió para realizar el análisis del crecimiento poblacional anual del municipio. (Referirse a la Ilustración 18)

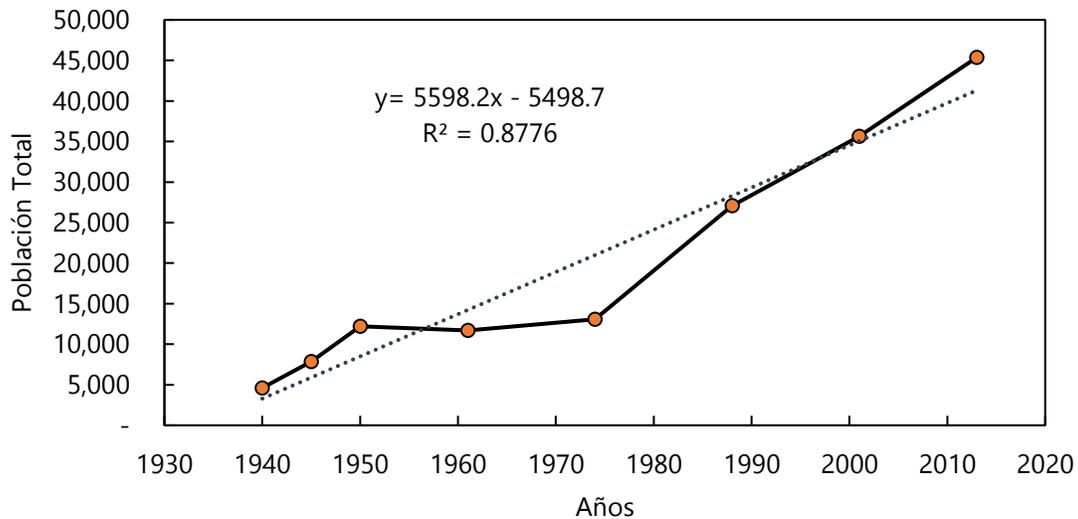


Ilustración 18. Crecimiento poblacional del Negrito, Yoro (1940-2013)

Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Estadística, 2013

Se insertó una línea de tendencia estilo punteado que servirá para poder ver de forma gráfica el crecimiento poblacional a través de los años, donde se obtuvo la ecuación 5 que será utilizada para realizar el pronóstico al año 2021 de la población total.

$$y = 5598.2x - 5498.7$$

Ecuación 5. Regresión lineal de la población

Donde:

- y= pronóstico de población total [habitantes]
- x= año de evaluación

El pronóstico del crecimiento poblacional es fundamental para la investigación en caso de no tener datos como el perfil de carga del municipio. Se realiza mediante regresión lineal simple debido a que no se han registrado datos oficiales de la población total del municipio

del Negrito, Yoro desde el año 2013, entonces se obtiene un pronóstico del dato para el año evaluado. Haciendo uso de la ecuación 5, se pudo realizar el pronóstico del crecimiento poblacional del año 2015 al 2021 donde se obtuvieron los resultados de la Tabla 18.

Tabla 18. Pronóstico de la población del municipio del Negrito, Yoro (2015-2021)

Año	Población total
2015	44,885
2017	50,483
2019	56,082
2021	61,680

Fuente: Elaboración propia

Al tener un valor numérico del pronóstico de la población total del municipio del Negrito, Yoro se puede obtener un cálculo más preciso la demanda de energía eléctrica que se necesitará abastecer mediante el proyecto de generación de energía eléctrica. Como se observa en los resultados de la Tabla 18, la población total del municipio ha crecido de manera significativa y por consiguiente, la demanda de energía eléctrica también.

Según el Informe Estadístico Anual del Subsector Eléctrico (2019) se puede definir como consumo per cápita al consumo total de energía eléctrica de un país o región dividido por la población total en algún determinado tiempo.

Normalmente el consumo total de energía eléctrica de un país o región se representa mediante un perfil de carga de manera gráfica, pero debido a las limitaciones presentadas durante el transcurso de la investigación, éste tendrá que ser pronosticado mediante una ecuación de regresión lineal. En la Tabla 19 se muestra el consumo per cápita de energía eléctrica diario a partir del año 2015 hasta el año 2019 en Honduras.

Tabla 19. Estadística histórica de consumo per cápita

Año	Consumo por persona de kwh-día
2015	1.85
2016	1.86
2017	1.91
2018	1.88
2019	1.90

Fuente: Dirección General de Electricidad y Mercados (DGEM),2019

Se debe considerar que los datos del consumo por persona de kWh al día se tomaron a partir de la demanda de energía eléctrica y población total en Honduras con respecto a cada año desde el 2015 hasta el 2019. De acuerdo con el historial del consumo de energía eléctrica por persona el mayor consumo fue registrado en el año 2017 con un valor de 1.91 kWh al día por persona. Sin embargo, todos los datos fueron necesarios para poder ver de manera gráfica la tendencia del crecimiento del consumo de energía eléctrica anual.

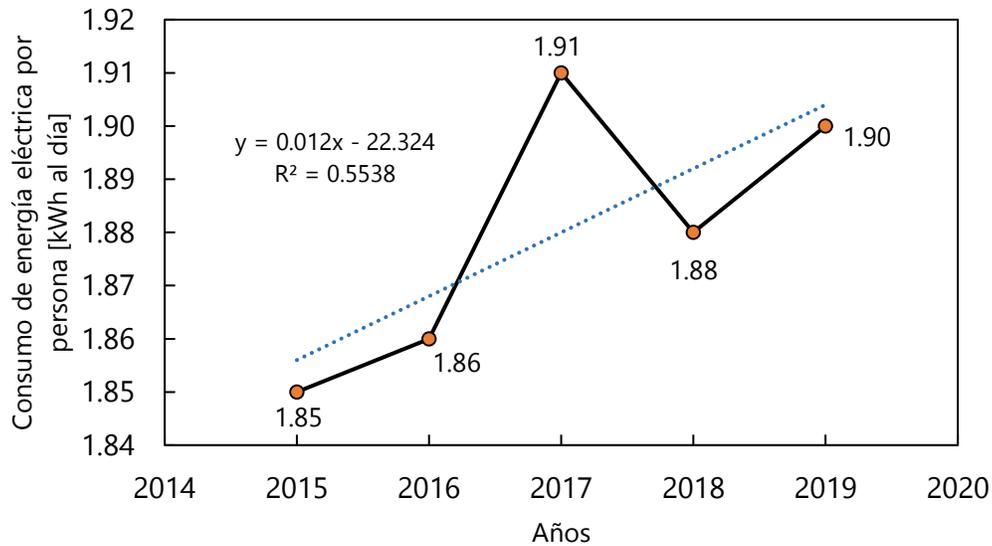


Ilustración 19. Crecimiento del consumo de energía eléctrica al día por persona en Honduras (2015-2019)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Dirección General de Electricidad y Mercados (DGEM),2019

De igual manera que en el crecimiento poblacional esta línea de tendencia servirá para ver el crecimiento del consumo de energía eléctrica a través de los años para poder obtener el resultado del consumo al año 2021. A partir de la línea de tendencia estilo punteado se obtuvo la ecuación 6.

$$y = 0.012x - 22.324$$

Ecuación 6. Regresión lineal del consumo de energía eléctrica al día por persona

Donde:

- y= pronóstico del consumo de energía eléctrica por persona [kWh al día]
- x= año de evaluación

Haciendo uso de la ecuación 6, se pudo realizar el pronóstico del crecimiento del consumo de energía eléctrica por persona del año 2020 y 2021 donde se obtuvieron los resultados de la Tabla 20.

Tabla 20. Pronóstico del consumo de energía eléctrica al día por persona en Honduras (2020-2021)

Año	Consumo por persona de kwh-día
2020	1.92
2021	1.93

Fuente: Elaboración propia

Uno de los propósitos principales del proyecto de investigación es poder abastecer el 50% de la demanda de energía eléctrica mediante la de generación de energía eléctrica a partir instalación de microturbinas, pero para poder realizar este cálculo es necesario saber la demanda de energía eléctrica que se debe suplir en el municipio del Negrito, Yoro. En la Tabla 21 se muestra la demanda de energía eléctrica diaria y anual en función de la población total del municipio.

Tabla 21. Pronóstico de la población y demanda de energía eléctrica total al año 2021

Pronósticos	Cantidad	Unidades
Población total del Negrito, Yoro	61,679.70	habitantes
Demanda de energía eléctrica al día	118,918.46	kWh al día
Demanda de energía eléctrica al año	43,405,238.48	kWh al año

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta que se obtuvo un solo dato de consumo por persona de kWh al día, no existirían variaciones mensuales para cada año. Normalmente se desea tener datos que varían respecto al tiempo cuando se habla de demanda de energía eléctrica, ya que en

un escenario real no se comportaría constante. Para propósito de la investigación el pronóstico de la demanda de energía eléctrica del municipio del Negrito, Yoro tendrá un comportamiento constante y por ende no se presentarán variaciones para cada mes.

5.2 FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Debido a los datos recopilados en la búsqueda de información, se determinó realizar la instalación de las microturbinas en el sistema de agua potable de Barrio Las Mesetas y Barrio Arriba, localizados en el casco urbano del municipio. En ambos barrios se realizó un proyecto de mejora de las líneas de conducción de agua y un diseño de la red de abastecimiento de agua nuevo para el año 2013.

Según un estudio realizado por la municipalidad, la comunidad cuenta con una fuente de agua superficial denominada Santa Elena. En dicho estudio, se tomó la decisión de realizar la construcción de un desarenador, ya que para los meses de invierno se presentaba arrastre de material de arena y sedimento. (Referirse a la Tabla 22)

Tabla 22. Datos de la Fuente de Abastecimiento Santa Elena

Tipo de Fuente	Quebrada	
Ubicación UTM	N 429548	E 1697326
Caudal de Aforo	150 GPM	
Método de Aforo	Volumétrico	
Elevación de Fuente	Fuente A: 284 msnm	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos brindados por la Municipalidad del Negrito, Yoro

5.3 PARÁMETROS DE DISEÑO

En esta sección se presentan los datos utilizados para la realización de cálculos de medición de los caudales aforados y sus comportamientos a través del tiempo.

La Fuente de Abastecimiento Santa Elena cuenta con un registro de caudales de aforo medidos periódicamente desde el año 2013 hasta el año 2020. La fuente de abastecimiento de agua potable tiene una capacidad de 150 GPM y una elevación de 284 msnm. (Referirse a la Tabla 23)

Tabla 23. Datos de caudales de aforo periódicos [l/s]

Mes	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Enero	9.33	17.23	9.66	11.43	13.3	14.67	9.34	13.3
Febrero	14.39	9.3	15.87	12.48	12.9	12.78	12.76	17.34
Marzo	9.4	9.34	13.45	9.54	7.56	13.21	15.78	15.43
Abril	18.3	9.9	13.32	11.32	7.8	15.76	14.69	13.66
Mayo	18.76	15.78	9.75	7.56	9.33	10.99	12.55	4.05
Junio	13.44	8.11	11.04	7.8	9.25	13.76	14.39	9.27
Julio	12.56	12.55	10.76	9.33	14.53	9.89	15	8.87
Agosto	9.3	12.56	9.89	9.25	13.24	12.67	11.54	14.65
Septiembre	9.34	15	12.55	10.54	14.72	14.32	11.34	11.32
Octubre	9.9	9.57	17.1	11.23	12.32	14.76	13.3	11.45
Noviembre	9.27	14.33	12.3	12.43	15.92	11.87	15.6	13.65
Diciembre	8.11	13.3	9.87	14.32	16	9.22	12.89	13.24

Fuente: Elaboración propia con datos brindados por la municipalidad del Negrito, Yoro

A partir de estos datos se pudieron calcular los siguientes parámetros de las fuentes presentadas en las Tabla 24.

Tabla 24. Resultados de datos generales de caudal de la Fuente de Abastecimiento Santa Elena en [l/s]

Caudal promedio	12.16
Caudal mínimo promedio	10

Caudal máximo promedio	14
# De datos recolectados	96

Fuente: Elaboración propia

Estos datos nos ayudan a definir cuáles serán los rangos que serán utilizados para los cálculos de frecuencia absoluta, frecuencia relativa y duración de caudales que nos permitirán determinar la potencia útil que se obtendrá para dichos caudales. Obtener el caudal mínimo promedio y máximo promedio es importante ya que alteran todos los resultados en caso de ser diferentes. Para este caso de estudio, solo se analizaron 4 rangos, siendo del 10-14. Esto puede variar dependiendo a los datos de caudales de aforo que se obtengan para realizar la investigación. (Referirse a la Tabla 25)

Tabla 25. Frecuencias y duración de caudales [l/s]

Rango	Q [l/s]	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Duración de caudales
14-13	13.5	3	25%	25%
13-12	12.5	4	3%	58%
12-11	11.5	4	33%	92%
11-10	10.5	1	8%	100%

Fuente: Elaboración propia

Estos cálculos son necesarios ya que nos ayudan a determinar cuál será el caudal de diseño a utilizar. Al analizar los resultados se puede ver que la frecuencia relativa es mayor en el rango de 12-11. Al graficar la columna de datos de valor medio y duración de caudales de la Tabla 25, se obtiene como resultado la Ilustración 20.

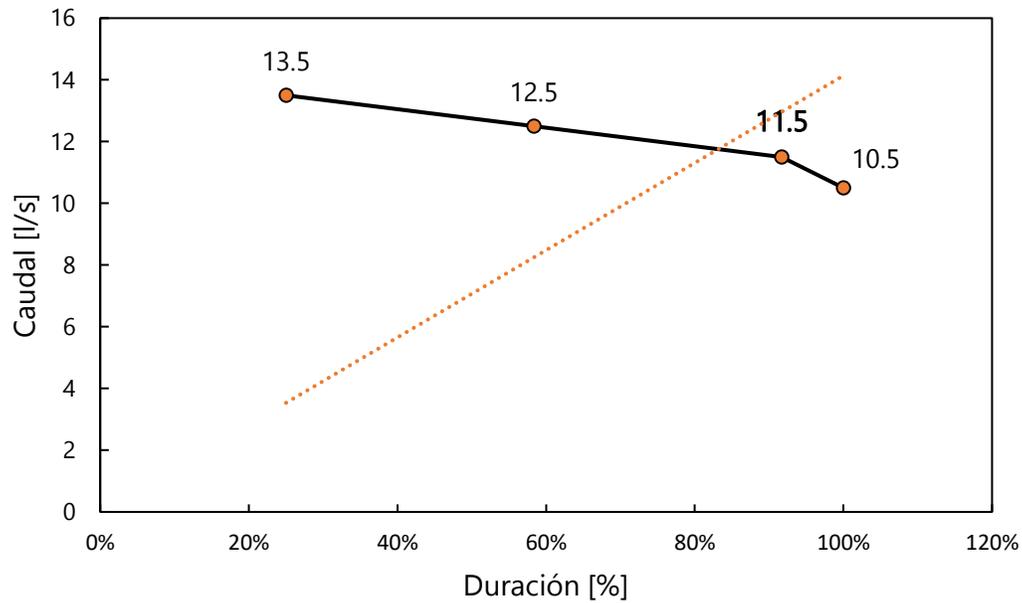


Ilustración 20. Curva de duración de caudales de la Quebrada Santa Elena, (2013–2020)

Fuente: Elaboración propia

Para definir el caudal de diseño a utilizar se insertó una línea de tendencia punteada en el gráfico, la cual se encuentra entre un rango de 12-11 l/s, por lo que se utiliza el valor medio que es de 11.5 l/s como el caudal de diseño. El caudal de diseño es el caudal turbinable.

Con los datos obtenidos de las mediciones periódicas de los caudales de aforo y utilizando como referencia los rangos de caudal establecidos, se puede calcular la potencia teórica anual mediante la ecuación 9, estas serán evaluaciones en condiciones ideales.

$$PT = \frac{c \times Q \times H \times h}{1000}$$

Ecuación 7. Fórmula para potencia en condiciones ideales

Fuente: Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos, 1995

Donde:

- PT = Potencia teórica en condiciones ideales [kW]

- C = coeficiente de impulsión de agua [-]
- Q = punto medio de rangos de caudal [m³/s]
- H = salto neto [m]
- h = eficiencia en condiciones ideales [%]

Para el cálculo de la generación de energía eléctrica en condiciones ideales se utiliza la ecuación 8.

$$ET = PT \times Duración \times 8760$$

Ecuación 8. Fórmula para energía eléctrica en condiciones ideales

Fuente: Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos, 1995

Donde:

- ET = Energía eléctrica teórica en condiciones ideales [kWh al año]
- Duración = duración de caudales [%]
- 8,760 = horas al año

Al utilizar las ecuaciones 9 y 10 para realizar los cálculos de potencia y energía eléctrica generada en condiciones ideales obtuvimos como resultado los datos mostrados en la Tabla 26.

Tabla 26. Datos para cálculo de Duración de Potencia

Q [l/s]	Duración [%]	Potencia teórica [kw]	Energía [kwh al año]
13.5	25%	3,834	8,396,460.0
12.5	58%	3,550	18,140,500.0
11.5	92%	3,266	26,225,980.0
10.5	100%	2,982	26,122,320.0

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que para el caudal de 11.5 l/s genera más energía eléctrica al año, así se confirma la decisión de utilizarlo como caudal de diseño. En la Ilustración 21 podemos

ver graficada la curva de duración de potencia en condiciones ideales, se adicionó una línea de tendencia lineal que nos ayudó a identificar el punto de intersección donde la potencia y duración de caudal son mayores simultáneamente.

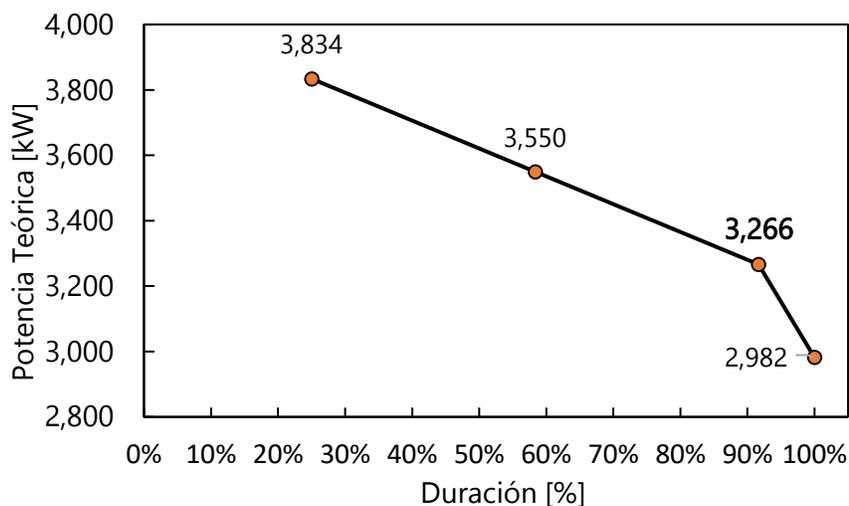


Ilustración 21. Curva de Duración de Potencia Teórica de la Quebrada Santa Elena

Fuente: Elaboración propia

5.4 ESTUDIO DE VIABILIDAD TECNO-FINANCIERA

En esta sección se explicará el diseño del sistema de microturbinas, especificando la potencia a instalar, la ubicación de las microturbinas y la generación de energía eléctrica que se logrará obtener.

También realizaremos el análisis financiero en el cual desglosaremos el presupuesto y los parámetros de entrada principales mediante los cuales pudimos obtener los resultados de nuestras variables dependientes (VAN, TIR y LCOE).

5.4.1 ANÁLISIS TÉCNICO

Para continuar con el desarrollo de la investigación, es necesario determinar el tipo de microturbinas a instalar. Para definir esto realizamos una matriz de decisión tomando en cuenta los datos principales como el caudal promedio [m^3/s] y el salto neto [m] de la Fuente

de Abastecimiento Santa Elena, los cuales son utilizados para el parámetro de diseño de la microcentral. (Referirse a la Tabla 27)

Tabla 27. Matriz de Decisión para tipo de microturbina

DATOS		¿Se encuentra dentro del rango de funcionamiento de la microturbina?	
		Microturbina Pelton	Microturbina Crossflow
Caudal Promedio [m ³ /s]	0.01216	Sí	No
Salto neto [m]	284	Sí	No

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 27 se muestra que tanto el caudal promedio [m³/s] como el salto neto [m] se encuentran dentro del rango de funcionamiento de la microturbina Pelton. Para verificar la decisión, se marcó con líneas rojas el caudal en el eje x y el salto neto en el eje y, obteniendo un punto de intersección dentro del tipo de turbina Pelton. (Referirse a la Ilustración 22)

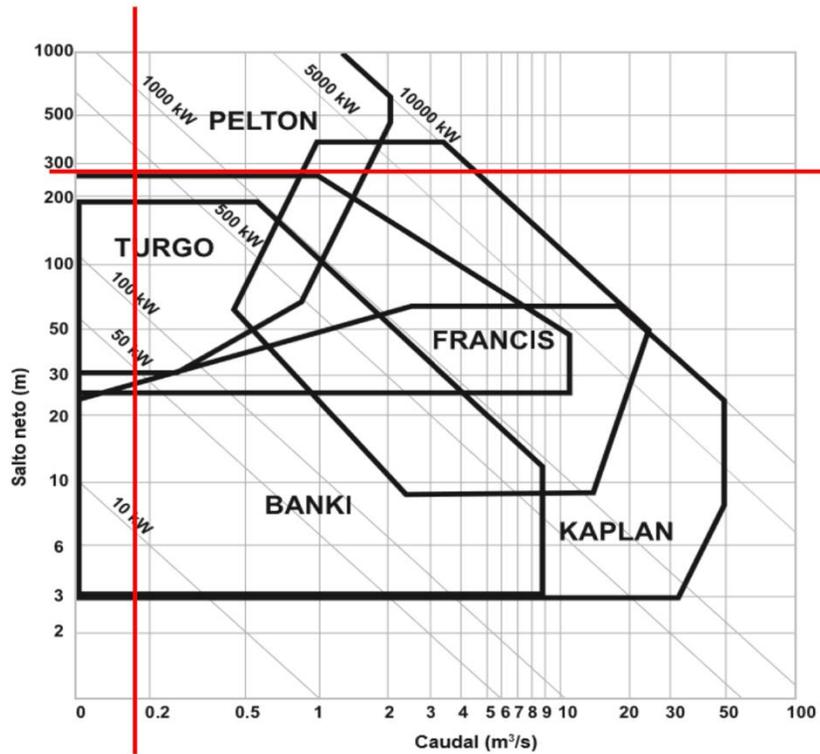


Ilustración 22. Selección de Microturbina

Fuente: Elaboración Propia

La eficiencia de una turbina no es constante en función del tiempo. En el Anexo 8, se puede ver la variación de la eficiencia en relación con la división de caudal entre caudal de diseño. En la ilustración 23 se puede ver de forma gráfica la eficiencia de la turbina Pelton en función del caudal. Se insertó una línea de tendencia polinómica de grado 5 para obtener la ecuación que fue utilizada para el cálculo de eficiencia con respecto a los datos de caudal.

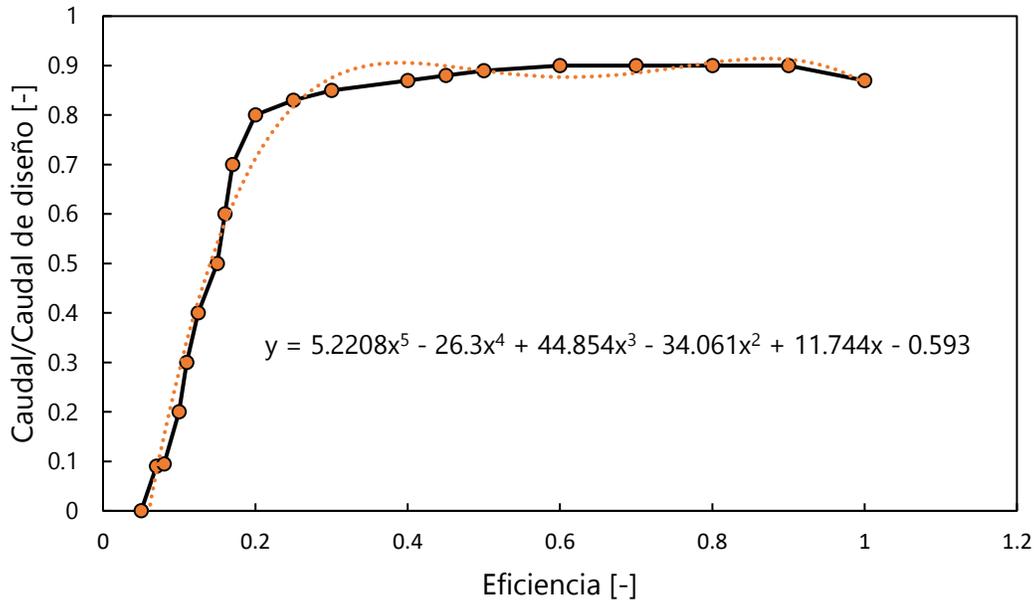


Ilustración 23. Eficiencia de Turbina Pelton en función del caudal

Fuente: Elaboración Propia

Luego de definir el tipo de microturbina a utilizar, se realizó el cálculo de potencia de la turbina y potencia eléctrica. Esto ayuda a determinar la capacidad nominal que tendrá la microcentral en kW y así dimensionar la potencia de la/s microturbina/s. Estos cálculos se hacen mediante el uso de la ecuación 9.

$$PTur = g \times Q \times H_n \times h$$

Ecuación 9. Potencia de Turbina

Donde:

- $PTur$ = potencia de la turbina [kW]
- g = gravedad [m/s^2]
- Q = caudal de diseño [m^3/s]
- H_n = salto neto [m]
- h = eficiencia [%]

La potencia eléctrica es la multiplicación de la potencia de la turbina por el porcentaje de la eficiencia que tendrá el generador eléctrico. Los datos de la Tabla 28 fueron los utilizados para poder realizar los cálculos de dichas potencias.

Tabla 28. Datos Generales

Gravedad [m/s ²]	9.81
Caudal de diseño [m ³ /s]	0.0115
Salto neto [m]	284
Eficiencia del generador [%]	85%

Se obtuvo un dato de caudal promedio por cada mes desde el año 2013 al 2020. Sin embargo, el caudal de diseño se definió a partir de la curva de duración de caudal (Ilustración 20), dato que se utilizará para los cálculos de potencia de la turbina y potencia eléctrica. (Referirse a la Tabla 29)

Tabla 29. Datos de caudal promedio por mes para cálculo de potencia de turbina y generador

Mes	Caudal Promedio [m ³ /s]	Caudal a utilizar [m ³ /s]	Potencia de Turbina [kW]	Potencia eléctrica [kW]
Enero	0.0122	0.0115	27.6	23.5
Febrero	0.0134	0.0115		
Marzo	0.0117	0.0115		
Abril	0.0130	0.0115		
Mayo	0.0110	0.0109		
Junio	0.0108	0.0108		
Julio	0.0116	0.0115		
Agosto	0.0116	0.0115		
Septiembre	0.0123	0.0115		
Octubre	0.0124	0.0115		
Noviembre	0.0131	0.0115		
Diciembre	0.0121	0.0115		

Fuente: Elaboración propia

En caso que los caudales promedios mensuales sean mayor que el caudal de diseño, se utiliza el caudal de diseño para el cálculo. Determinado esto, solo para los meses de mayo y junio se utilizó el caudal promedio al calcular. Se calculó la potencia para cada mes y se obtuvo un promedio de 27.6 kW.

Se determina que la potencia de la microturbina es de 27.6 kW, por lo que se encuentra en un rango de 25-30 kW para seleccionar la potencia a instalar. Para no hacer una sobrecarga del equipo, seleccionamos el valor mínimo que se encuentra dentro del rango antes mencionado (25 kW).

La generación de energía eléctrica es uno de los resultados esenciales dentro de esta investigación ya que esto va a ayudar a determinar la cantidad de demanda de energía eléctrica que se logrará abastecer al Negrito, Yoro realizando la instalación de microturbinas.

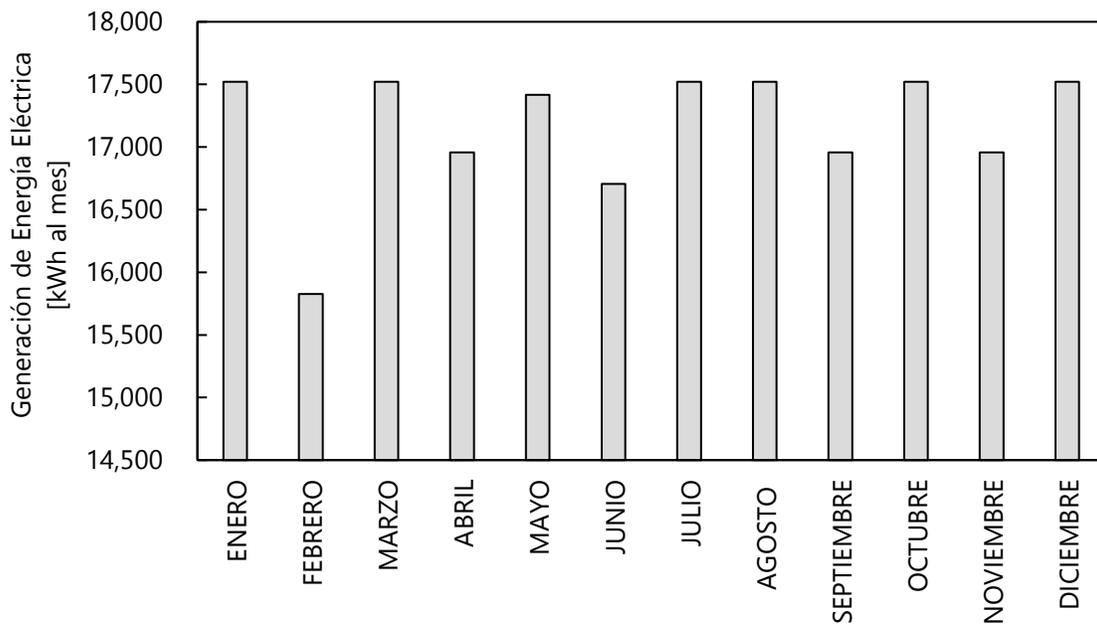


Ilustración 24. Generación de energía eléctrica mensual en kWh

Fuente: Elaboración propia

La generación de energía eléctrica anual de la microcentral sería de 205,955.79 kWh al año. Para poder ver la generación de energía eléctrica de la microcentral con respecto a la demanda de energía eléctrica del municipio de manera visual, se generó un gráfico. Se puede ver la que este proyecto microhidro no puede abastecer la demanda de electricidad. (Referirse a la Ilustración 25)

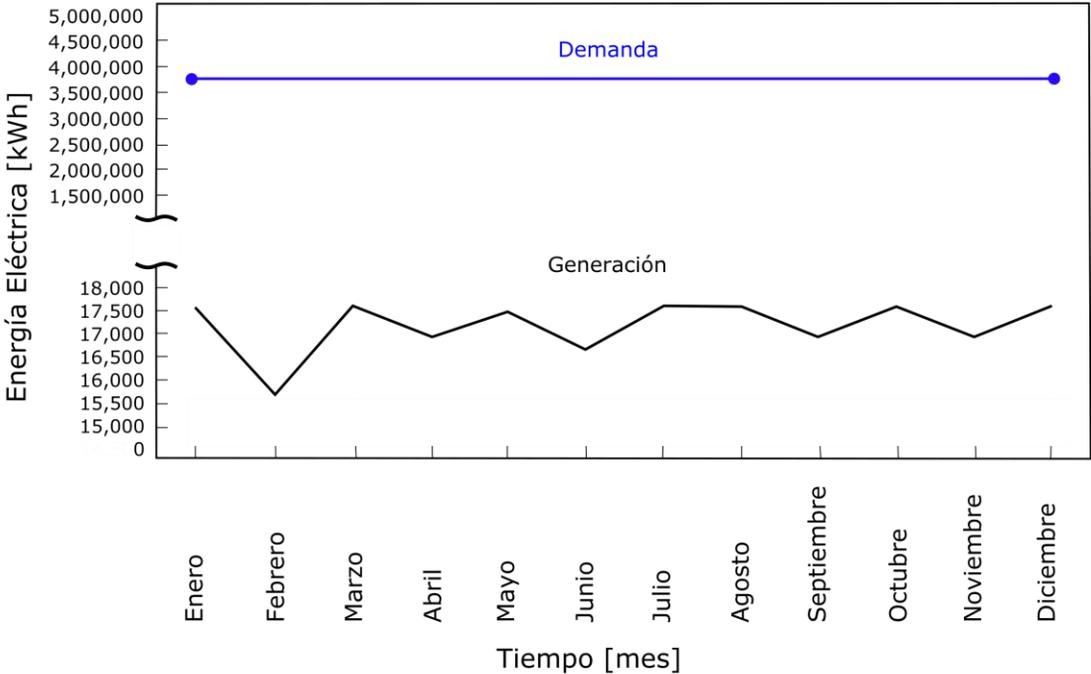


Ilustración 25- Generación de Energía Eléctrica respecto a la Demanda de Energía Eléctrica mensual

Fuente: Elaboración Propia

Considerando los resultados obtenidos del análisis técnico se considera que el proyecto no es factible desde el punto de vista técnico, se determinó que el parámetro a medir para la viabilidad técnica es suplir al 50% de la demanda de energía eléctrica de la población del municipio del Negrito, Yoro anual y el proyecto solamente es capaz de suplir menos del 1%. (Referirse a la Tabla 30)

Tabla 30. Pronóstico de la población beneficiada del Negrito, Yoro por el proyecto de generación de energía eléctrica

Pronósticos	Cantidad	Unidades
Población total del Negrito, Yoro	61,680	habitantes
Demanda de energía eléctrica anual	43,405,238.48	kWh al año
Generación de energía eléctrica anual	205,955.79	kWh al año
Población beneficiada del Negrito, Yoro por el proyecto de generación de energía eléctrica	292	habitantes
Porcentaje de la población beneficiada del Negrito, Yoro	0.473 %	%

Fuente: Elaboración propia

Para la viabilidad del sistema se podrían instalar microturbinas en sistemas de agua potable que sean abastecidos por ríos que tengan mayor caudal promedio, ya que normalmente las quebradas tienen caudales muy bajos que no generan mucha energía eléctrica. Para que este proyecto pudiera ser viable desde el punto de vista técnico se realizaron algunas sugerencias.

5.4.2 SUGERENCIAS PARA ASEGURAR LA VIABILIDAD TÉCNICA DEL PROYECTO

Para abastecer el 50% de la población actual del Negrito, Yoro (30,840 habitantes) se necesitarían los siguientes parámetros mostrados en la Tabla 31.

Tabla 31. Caudales mínimos para abastecer el 50% de la demanda de energía eléctrica del Negrito, Yoro

Caudal mensual promedio mínimo [m ³ /s]	1.5
Caudal de diseño mínimo [m ³ /s]	1.3

Fuente: Elaboración propia

Se sabe que la demanda de energía eléctrica es de 43,405,238.48 kWh, para poder abastecer el 50% de esto, se ocupan caudales significativamente mayores. (Referirse a la Tabla 32)

Tabla 32. Datos de caudal promedio por mes para cálculo de potencia de turbina y generador

Mes	Caudal Promedio [m³/s]	Caudal a utilizar [m³/s]	Potencia de Turbina [kW]	Potencia eléctrica [kW]
Enero	1.5	1.5	3,812.29	3,240.45
Febrero	1.5	1.5		
Marzo	1.5	1.5		
Abril	1.5	1.5		
Mayo	1.5	1.5		
Junio	1.5	1.5		
Julio	1.5	1.5		
Agosto	1.5	1.5		
Septiembre	1.5	1.5		
Octubre	1.5	1.5		
Noviembre	1.5	1.5		
Diciembre	1.5	1.5		

Fuente: Elaboración propia

La potencia a instalar que se obtuvo de resultado fue 3,812.29 kW, por lo cual se determinó que era necesario instalar 3,000 kW. Se recomienda utilizar microturbinas de 70-100 kW con una eficiencia de 90% a lo largo de todo el municipio y no solo en un sector específico, se podría lograr abastecer el 50% de la demanda de energía eléctrica.

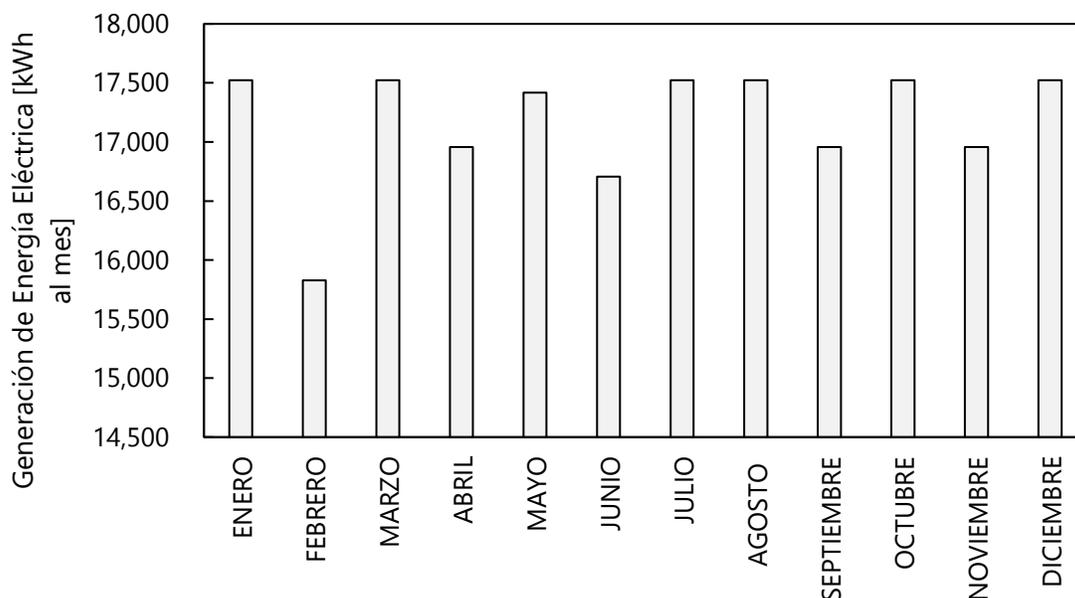


Ilustración 26. Generación de energía eléctrica mensual en kWh en escenario viable

Fuente: Elaboración propia

Se logró obtener la generación de energía mensual que se puede ver representada en la Ilustración 26, a partir de esto se brinda una tabla resumen de cómo se verían los resultados del análisis técnico en caso de ser viable. (Referirse a la Tabla 33)

Tabla 33. Población beneficiada del Negrito, Yoro por el proyecto de generación de energía eléctrica

Pronósticos	Cantidad	Unidades
Población total del Negrito, Yoro	61,680	habitantes
Demanda de energía eléctrica anual	3,617,103.21	kWh al mes
Demanda de energía eléctrica anual	43,405,238.48	kWh al año
Generación de energía eléctrica anual	23,322,194.48	kWh al año
Población beneficiada del Negrito, Yoro por el proyecto de generación de energía eléctrica	33,140	habitantes
Porcentaje de la población beneficiada del Negrito, Yoro	53.73 %	%

Fuente: Elaboración propia

5.4.3 ANÁLISIS FINANCIERO

La finalidad del análisis financiero es poder estudiar la viabilidad tecno-económica del proyecto.

Inicialmente para poder realizar el análisis financiero es necesario determinar el valor del costo de capital total, el cual representa la inversión inicial del proyecto. Dicho costo se calculó con el presupuesto presentado en la Tabla 34.

Tabla 34. Presupuesto de inversión inicial del proyecto [Lempiras (L)]

Equipo hidromecánico (Microturbina 20kW)	L 190,000.00
Equipos eléctricos (Generador y Transformador)	L 96,000.00
Transporte de equipos	L 40,000.00
Líneas de Distribución	L 670,000.00
Mano de obra	L 180,000.00
<i>Subtotal costo del proyecto</i>	L 1,176,000.00
Imprevistos [5%]	L 58,800.00
COSTO CAPITAL TOTAL	L 1,234,800.00

Fuente: Elaboración propia

Al tener determinado el costo de capital total procedemos a realizar el análisis financiero tomando en cuenta los parámetros de entrada presentados en la Tabla 35. Se determinó una tasa de cambio dólar-lempira de L. 24. 11, con este dato tenemos que nuestro Costo de Capital Total es de \$49,392.00 USD.

Tabla 35. Parámetros de entrada ingresados

Capacidad Instalada [kWp]	25 kWp
Costo de Capital Específico [\$/kW]	\$ 2,469.60
Tasa de inflación [%]	1.5 %
Tarifa de energía eléctrica (Año 1) [\$/kW]	\$ 0.15/kW
Incremento de tarifa anual [%]	1.5 %
Costos por O&M [\$/kW-año]	\$ 120/kW
Costo de Capital Total [\$]	\$ 49,392.00
Inversión fondos propios [%]	30 %
Inversión fondos propios [\$]	\$ 14,817.60
Tasa de interés fondos propios [%]	12 %
Deuda [%]	70 %
Deuda [\$]	\$ 34,574.40
Tasa de interés préstamo [%]	1.5 %
Plazo de préstamo [años]	10
Tasa impositiva ISR [%]	25 %
Seguros [\$]	\$ 21,680.00
Inversión social y ambiental [\$]	\$ 50,000.00
Vida útil del proyecto [años]	25

Fuente: Elaboración propia

Con los datos mostrados anteriormente, se logró hacer el cálculo de Costo Nivelado de la Electricidad, como también del análisis financiero sin financiamiento y con financiamiento

para obtener valores de Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y período de recuperación, determinando así la viabilidad económica del proyecto a realizar.

En la Tabla 36 se muestra cuánto dinero en dólares estadounidenses costará generar cada kWh de energía eléctrica.

Tabla 36- Costo Nivelado de la Electricidad

Potencia Nominal [kW]	Costo Capital Total [\$]	O&M [\$]	Generación de Energía Eléctrica [kWh]	LCOE [\$/kWh]
25	\$ 49,392.00	\$ 75,000.00	205,955.79	\$ 0.0242

Fuente: Elaboración propia

Estos fueron los criterios que se establecieron para determinar la viabilidad financiera para ambos casos. A continuación, se muestran los parámetros de salida para ambos escenarios con y sin financiamiento.

Tabla 37. Parámetros de salida sin financiamiento

Período de retorno	6.388 [años]
Tasa Interna de Retorno (TIR)	14%
Valor Actual Neto (VAN)	\$ 15,964.13

Fuente: Elaboración propia

El período de retorno para el escenario sin financiamiento se puede ver graficado en la Ilustración 27.

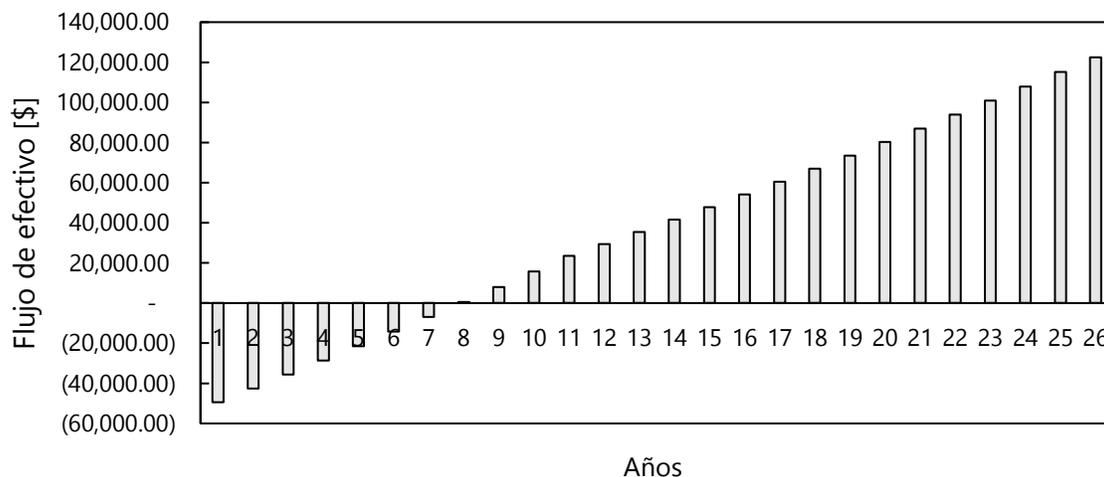


Ilustración 27. Período de recuperación de la inversión (escenario Sin Financiamiento)

Fuente: Elaboración Propia

La ONG Water For People está interesada en la realización de esta central hidroeléctrica para generación de energía eléctrica por medio de microturbinas, esta ONG sería la encargada de realizar la inversión inicial de proyecto.

Tabla 38. Parámetros de salida con financiamiento

Período de retorno	7.299 [años]
Tasa Interna de Retorno (TIR)	15%
Valor Actual Neto (VAN)	\$ 18,147.63

Fuente: Elaboración propia

El período de retorno para el escenario sin financiamiento se puede ver graficado en la Ilustración 28.

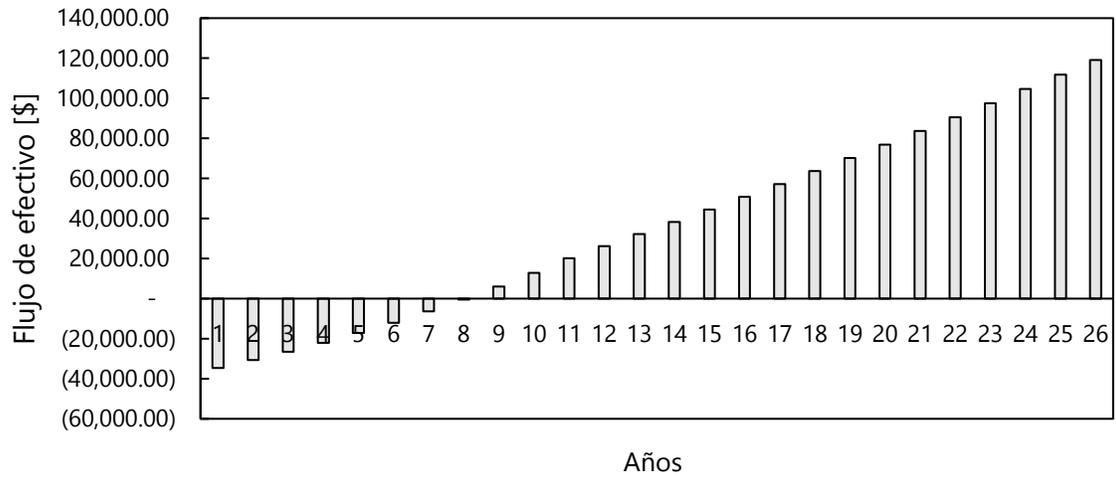


Ilustración 28. Período de recuperación de la inversión (escenario Con Financiamiento)

Fuente: Elaboración Propia

VI. CONCLUSIONES

El proyecto de investigación ha logrado determinar la viabilidad tecno-económica de la instalación de microturbinas en el sistema de agua potable del municipio del Negrito, Yoro a partir del Costo Nivelado de la Electricidad, el VAN y la TIR. Se propuso un sistema de 25 kW en la bocatoma de la obra de captación para la generación de energía eléctrica. La investigación reveló los siguientes resultados:

- De acuerdo con el pronóstico del crecimiento poblacional del Negrito, Yoro para el año 2021 la población total es de 61,679.7 habitantes. Considerando que el consumo de energía eléctrica es de 1.91 kWh al día por habitante, la demanda de energía eléctrica a suplir en el municipio del Negrito, Yoro sería de 118,918.46 kWh al día y 43,405,238.48 kWh al año.
- La fuente de abastecimiento de agua potable del Negrito, Yoro es proveniente de la Quebrada Santa Elena y a partir de 96 datos de caudal de aforo medidos mensualmente desde el año 2013 al 2020 se determinó un caudal mínimo de 4.05 l/s, un caudal máximo de 18.76 l/s, un caudal promedio de 12.16 l/s y un caudal de diseño de 11.5 l/s.
- Basándose en las especificaciones de la fuente de abastecimiento de agua potable, el diseño propuesto comprende de la instalación de una turbina-generator Pelton en la bocatoma de la Quebrada Santa Elena. Dicha turbina tendrá una potencia nominal de 25 kW, marca Forster Hydro Power, modelo CJ237-W-45, con un voltaje de salida del generador eléctrico de 440 V y una vida útil de 25 años.
- Para la determinación de la viabilidad técnica del proyecto se consideraron datos generales como el peso específico del agua, coeficiente para impulsión de agua y gravedad. De igual manera se consideraron datos principales del sistema tales como la eficiencia de la turbina y generador, el porcentaje de duración de caudales y el salto neto para determinar la potencia eléctrica neta de salida en kW. A partir de esto se obtuvo como resultado de generación de energía eléctrica un total de 205,955.79 kWh al año y considerando la demanda de energía eléctrica del municipio del

Negrito, Yoro solamente se cubriría el 0.473 % de la población, equivalente a 292 habitantes.

- La inversión inicial total del proyecto se compone de costos de equipo hidromecánico, costos por equipos eléctricos, costos por transporte, costo por líneas de distribución, costos por mano de obra y un 5% del subtotal del proyecto para cubrir cualquier imprevisto, obteniendo como resultado un Costo Capital Total de \$49,392 USD. Para determinar la viabilidad financiera se analizaron dos escenarios:
 - a) Con financiamiento: en este parámetro se realizaría una inversión inicial de fondos propios del 30% del Costo Capital Total, equivalente a \$14,817.6 USD y una deuda con el banco del 70% equivalente a \$34,574.4 USD. Los parámetros de salida serían un período de retorno de 7.29 años, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 15% y un Valor Actual Neto (VAN) de \$ 18,147.63 USD.
 - b) Sin financiamiento: en este parámetro se realizaría la inversión inicial total del proyecto de los fondos propios. Los parámetros de salida serían un período de retorno de 6.38 años, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 14% y un Valor Actual Neto (VAN) de \$ 15,964.13.
- El cálculo del Costo Nivelado de la Electricidad (LCOE) se realizó en base al Costo Capital Total (\$49,392 USD), la generación de energía eléctrica anual (205,955.79 kWh al año) y costos de operación y mantenimiento (120 \$/kW al año), donde se obtuvo un LCOE de 0.0242 \$/kWh.

Una limitación que se presentó a medida se realizaba la investigación fue la ausencia de registros del consumo de energía eléctrica representados mediante un perfil de carga. Con un perfil de carga se podía realizar un análisis más detallado del consumo y la demanda de energía eléctrica en el municipio del Negrito, Yoro.

A pesar de estas limitaciones, el trabajo puede ser útil para la toma de decisiones de futuros proyectos relacionados con el aprovechamiento de fuentes de abastecimiento de agua potable para generación de energía eléctrica a través de microcentrales. La investigación tiene diversos puntos fuertes como la selección de la Microturbina Pelton para caudales

mínimos y saltos elevados. Este tipo de proyecto proporciona el abastecimiento de energía eléctrica renovable en cualquier sector.

VII. RECOMENDACIONES

- Tomar en cuenta que para que el proyecto de generación de energía eléctrica sea considerado viable, tanto el análisis técnico como el financiero deben cumplir con lo establecido en los objetivos específicos ya que, son interdependientes.
- El análisis del comportamiento de caudales se realiza a partir de mediciones periódicas de los mismos, por lo que se recomienda tener datos actualizados de la zona donde se realizará la investigación.
- Al momento de realizar el diseño del sistema se recomienda seleccionar el tipo de turbina que este dentro del rango de funcionamiento de parámetros tales como el salto neto y el caudal de la zona donde se hará la instalación del equipo.
- Se recomienda realizar el análisis técnico en la Quebrada Pijol que es la segunda Fuente de Abastecimiento de Agua Potable del Negrito, Yoro.
- Para determinar la viabilidad financiera del proyecto se recomienda utilizar el escenario con financiamiento ya que, la TIR y VAN son mayores por lo que representa un incremento en el flujo de efectivo anual.

VIII. APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN

Esta evaluación tecno-económica de la instalación de microturbinas en el sistema de agua potable permite que toda aquella empresa interesada en evaluar la implementación de una microcentral lo pueda evaluar en base al LCOE, VAN y TIR.

IX. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL / TRABAJO FUTURO

X. BIBLIOGRAFÍA

Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de proyectos*. McGraw-Hill.

BCIE, H. (n.d.). *Guía para el desarrollo de proyectos de energía renovable en Honduras*. Retrieved June 15, 2021, from https://areca.bcie.org/documentos/dcmumento?tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Bnews%5D=3695&cHash=cd0db03e3157c03e01b9f2e10140fbe3

Bertrand, T. Z., & Álvarez, H. (2020). Estado Actual de la Energía Hidroeléctrica en Honduras. Análisis del 2007 al 2017. *Revista de la Escuela de Física*, 8(1), 60–79. <https://doi.org/10.5377/ref.v8i1.10089>

Bohórquez Niño, A. (2017). *MICROTURBINA PELTON, UNA SOLUCION REAL DE ENERGIA PARA ZONAS NO INTERCONECTADAS (ZNI)*. 1, 5. <https://doi.org/10.24054/16927257.v31.n31.2018.2768>

Castro, A. (2006). *Minicentrales hidroeléctricas*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Chávez, J. (2012). *Ficha Técnica Turbina Michell-Banki*. Soluciones Prácticas-ITDG.

Cordova Guevara, O. J. (2015). Fuentes Renovables y Generación de Energía Limpia su regulación en Honduras. *La Revista de Derecho*, 35, 93–112. <https://doi.org/10.5377/lrd.v35i0.1785>

Coz, F., Sánchez Sánchez, T., Ramírez-Gastón, J., & Intermediate Technology Development Group. (1996). *Manual de mini y microcentrales hidráulicas: Una guía para el desarrollo de proyectos*. Intermediate Technology Development Group.

Descripción general – Google Earth. (2021). Google Earth. <https://www.google.com/intl/es-419/earth/>

Eisenring, M., Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien (Eschborn), & Workshop on Micro Hydropower Energy (Eds.). (1991). *Micro Pelton turbines*. SKAT.

Energía (OLADE), O. L. de. (1983). *Manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas*. OLADE,. <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0194.pdf>

Fromm, R., & Peralta Pérez, J. (2009). *Guía Metodológica para el Establecimiento de Micro Centrales Hidroeléctricas en Áreas Rurales*. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), Proyecto “Promoviendo el Manejo Integrado de Ecosistemas y de Recursos Naturales en Honduras” (Proyecto Ecosistemas), SECRETARIA DE AGRICULTURA Y GANADERIA (SAG).

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Pilar Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

Índice de Cobertura y Acceso a la Electricidad en Honduras. (2019). 65.

Instituto Nacional de Estadística. (2016). *INE-HONDURAS:- Diseminación de Información Estadística*. Censo de Población y Vivienda. <http://170.238.108.227/binhnd/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=MUNDEP18&lang=ESP>

International Energy Agency. (2017). *Energy Access Outlook 2017: From Poverty to Prosperity*. OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264285569-en>

LGIE. (2013). *Ley General de la Industria Eléctrica*. <https://www.tsc.gob.hn/biblioteca/index.php/leyes/563-ley-general-de-la-industria-electrica>

Mataix, C. (1997). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Ediciones del Castillo.

Memoria-final-endev092.pdf. (n.d.). Retrieved May 4, 2021, from <https://energypedia.info/images/1/19/Memoria-final-endev092.pdf>

Microsoft. (2020). ★ *Microsoft Excel—Microsoft .. Informacion | Que es?* es.google-info.org. <https://es.google-info.org/48729/1/microsoft-excel.html>

Naciones Unidas. (2017). *Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos*. <https://undocs.org/pdf?symbol=es/A/72/160>

Organización Latinoamericana de Energía, O. (Ed.). (1983). *MANUAL DE DISEÑO ESTANDARIZACIÓN Y FABRICACIÓN DE EQUIPOS PARA PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS* (Diseño, estandarización y fabricación de turbinas michell-banki., Vol. 1). OLADE.

Ortiz Flórez, R. (2011). *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. Ediciones de la U. <https://elibro.net/ereader/elibrodemo/70972>

P. Anderson, E. (2013). *Desarrollo Hidroeléctrico y Servicios Ecosistémicos en Centroamérica*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Pineda Fasquelle, C. (2015). *Energías sostenibles: HONDURAS*. https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/carlos_pineda.pdf

Puga Muñoz, M. (2009). *Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno*. Departamento de Auditoría y Sistemas de Información.

Shaheen, H., Azad, B., Mushtaq, A., & Ahmad Khan, R. W. (2016). Fuelwood consumption pattern and its impact on forest structure in Kashmir Himalayas. *Bosque (Valdivia)*, 37(2), 419–424. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000200020>

Sierra Vargas, F. E., Sierra Alarcón, A. F., & Guerrero Fajardo, C. A. (2011a). Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: Alternativa real de generación eléctrica. *Informador Técnico (Colombia)*, 75.

Sierra Vargas, F. E., Sierra Alarcón, A. F., & Guerrero Fajardo, C. A. (2011b). Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: Alternativa real de generación eléctrica. *Informador Técnico*, 75. <https://doi.org/10.23850/22565035.22>

Statistical Review of World Energy 2020. (2020). 68.

Torres, M. (2020). *Tasa Interna de Retorno (TIR): Definición, cálculo y ejemplos*. Rankia. <https://www.rankia.cl/blog/mejores-opiniones-chile/3391122-tasa-interna-retorno-tir-definicion-calculo-ejemplos>

US Department of the Interior, B. of R. (2015). *Hydroelectric Power*. Power of Resources Office.

Vásquez, L., Alejandro, D., Velasco, U., & Javier, C. (2015). *Análisis de ciclo de vida y energético de las centrales hidroeléctricas Agoyán y Paute*. 167.

Zifan, Z., Zhidong, W., Zhifeng, C., Gan, W., Na, S., & Changxing, G. (2019). Study on Grid-Connected Strategy of Distribution Network with High Hydropower Penetration Rate in Isolated Operation. *School of Electrical Engineering, Guangzhou College of South China University of Technology. School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China. Shaoguan Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Corporation, Shaoguan 512300, China.*, 15. <https://doi.org/10.3390/pr7060328>

Universidad Nacional Autónoma de México . *Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán*. (2019).

http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/Laboratoriovirtualdeestadistica/CARPETA%20%20INFERENCIA_ESTADISTICA/DOC_%20INFERENCIA/TEMA%204/09%20REGRESION%20Y%20CORRELACION%20LINEAL%20SIMPLE.pdf ((UNAM), 2019)

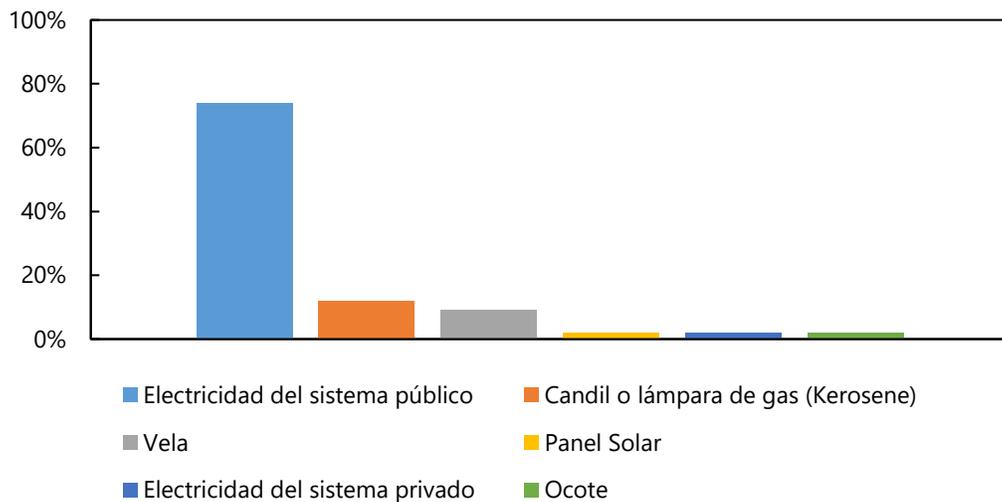
XI. ANEXOS

Anexo 1- Ley de Promoción a la Generación de Energía Eléctrica con Recursos Renovables

<u>Poder Legislativo</u>	SUMARIO			
<p>DECRETO No.70-2007</p> <p>EL CONGRESO NACIONAL,</p> <p>CONSIDERANDO: Que de conformidad a lo establecido en el artículo 205 numeral 1) de la Constitución de la República, son atribuciones del Congreso Nacional, crear, decretar, interpretar, reformar y derogar las leyes.</p> <p>CONSIDERANDO: Que la economía del pueblo hondureño se ha visto afectada por acontecimientos internacionales, ya sea por efectos de la naturaleza o por impactos en la economía mundial; en vista que los altos precios a la importación de todo tipo de combustibles en Honduras es causa de encarecimiento de la mayoría de bienes de consumo, así como de los costos de la energía comprada por la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) que ha pasado de tener un costo de 4.8 centavos de dólar por kilovatio por hora evaluado en la última licitación internacional a un costo real unitario de más de 9 centavos por kilovatio por hora.</p> <p>CONSIDERANDO: Que es urgente el diseño e implementación de una política que señale las medidas adecuadas de ahorro energético y proponga aquellas que ayuden a reducir la dependencia de los derivados del petróleo.</p> <p>CONSIDERANDO: Que es de interés público aprovechar los recursos energéticos nacionales para mejorar la balanza de pagos y evitar la fuga de divisas por</p>	<p style="text-align: center;">Sección A Decretos y Acuerdos</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center; vertical-align: top;">70-2007</td> <td style="width: 80%; padding: 2px;"> <p>PODER LEGISLATIVO Decreta: LEY DE PROMOCIÓN A LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON RECURSOS RENOVABLES</p> <p>AVANCE</p> </td> <td style="width: 10%; text-align: center; vertical-align: top;"> <p>A. 1-15</p> <p>A. 16</p> </td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Sección B Avisos Legales <small>Disponibles para su comodidad</small></p> <p style="text-align: right;">B. 1-28</p> <p>la compra de combustibles fósiles para plantas térmicas (Mayor a cuatro mil millones de Lempiras en el año 2005) y para ésto es necesario facilitar la obtención de los permisos, autorizaciones ambientales necesarias, Contratos de Operación, Contrato de Suministro de Energía Eléctrica y Contrata de Aguas.</p> <p>CONSIDERANDO: Que el desarrollo y la generación de energía eléctrica por fuentes naturales renovables y sostenibles provenientes de fuentes hidráulicas, geotérmicas, solar, biomasa, eólica, maremotriz y residuos sólidos son de utilidad pública y es deber ineludible del Estado contribuir a crear un clima propicio para fortalecer la inversión nacional y de esta manera mejorar la calidad de vida de la población evitando la contaminación local y reduciendo el efecto invernadero.</p>	70-2007	<p>PODER LEGISLATIVO Decreta: LEY DE PROMOCIÓN A LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON RECURSOS RENOVABLES</p> <p>AVANCE</p>	<p>A. 1-15</p> <p>A. 16</p>
70-2007	<p>PODER LEGISLATIVO Decreta: LEY DE PROMOCIÓN A LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON RECURSOS RENOVABLES</p> <p>AVANCE</p>	<p>A. 1-15</p> <p>A. 16</p>		
	A. 1			

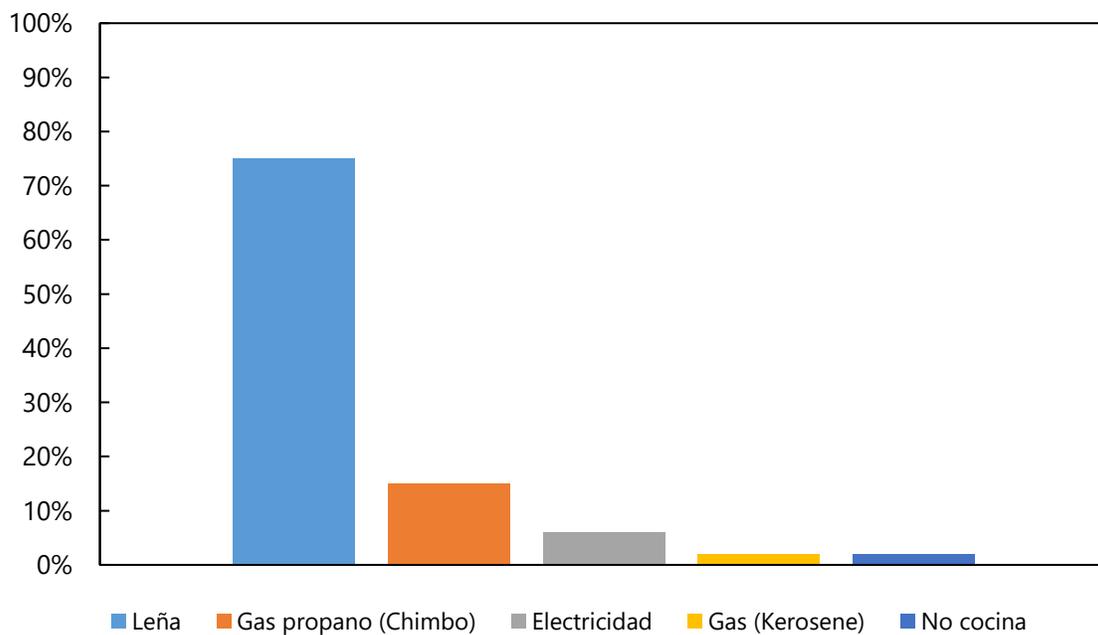
Fuente: La Gaceta

Anexo 2- Alumbrado Utilizado



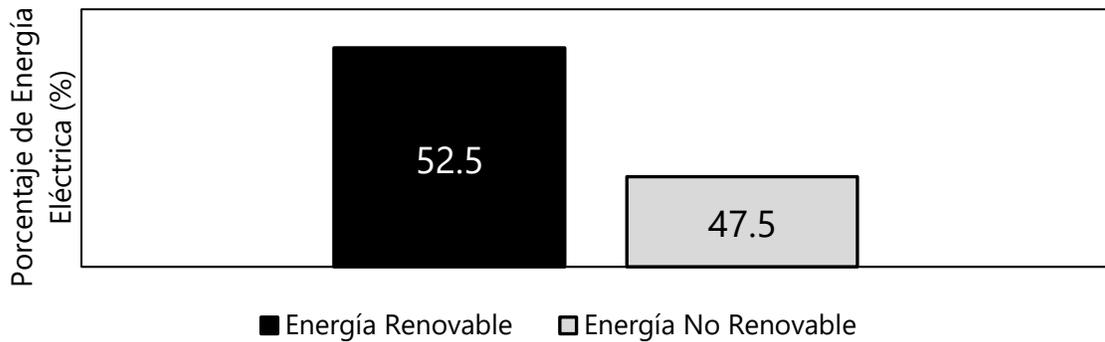
Fuente: Elaboración Propia con información de Censo Nacional de Población y Vivienda INE, 2013

Anexo 3- Energía para cocinar



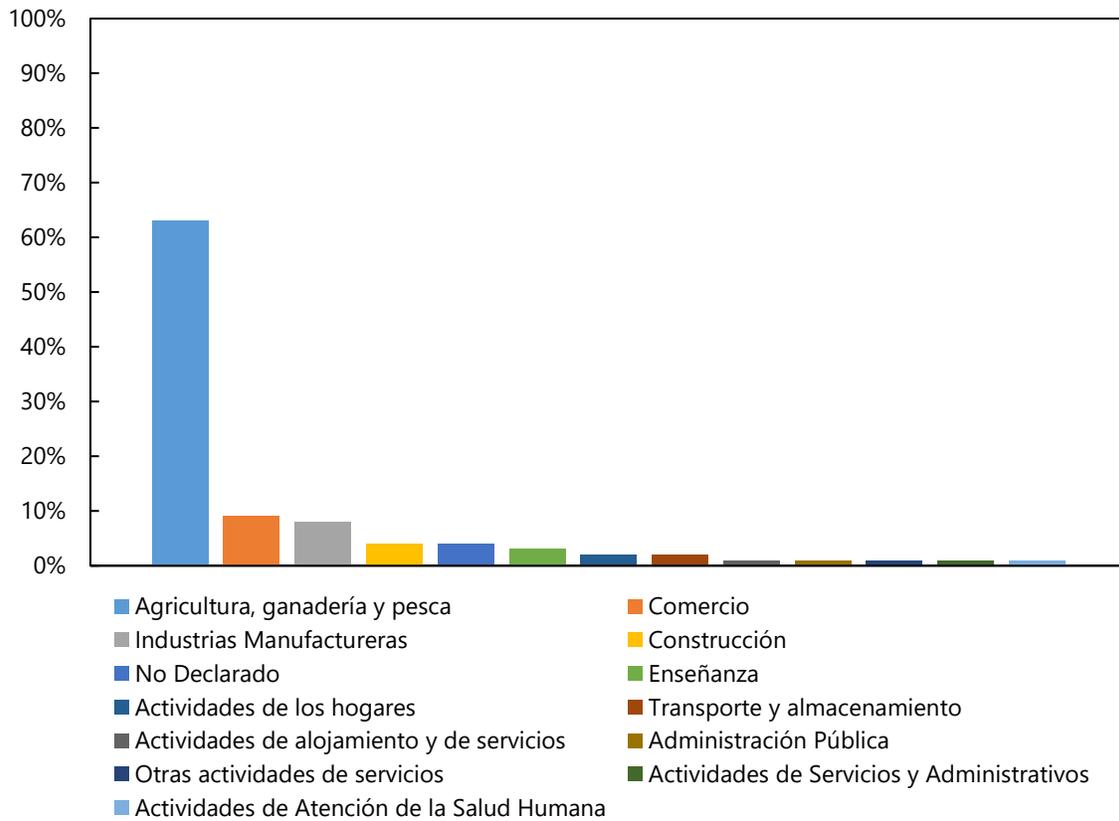
Fuente: Elaboración Propia con información de Censo Nacional de Población y Vivienda INE, 2013

Anexo 4- Energía Eléctrica Renovable y No Renovable Generada en el Sistema Interconectado Nacional



Fuente: Elaboración Propia con información del Boletín Estadístico ENEE, 2021

Anexo 5- Actividad Económica



Fuente: Elaboración Propia con información de Censo Nacional de Población y Vivienda INE, 2013

Anexo 6- Hidráulica Estatal

Hidráulica Estatal	Tipo de Embalse	Año 2020		Enero 2021	
		MW	%	MW	%
Francisco Morazán	Reg. Plurianual	300.0	10.6	300.0	10.6
Río Lindo	Reg. Diaria	80.0	2.8	80.0	2.8
Cañaveral	Reg. Anual	29.0	1.0	29.0	1.0
El Níspero	Reg. Horaria	22.5	0.8	22.5	0.8
Santa María del Real	Reg. Horaria	1.2	0.04	1.2	0.04
Patuca	Reg. Plurianual	104.0	3.69	104.0	3.68

Fuente: (Boletín Estadístico, 2021)

Anexo 7- Población Total al año 2013 en el Negrito, Yoro

Año	Hombre	Mujer	Total
1887	510	490	1,000
1901	486	465	951
1905	426	462	888
1910	320	304	624
1916	348	293	641
1926	1,029	499	1,528
1930	2,121	1,316	3,437
1935	1,469	1,436	2,905
1940	2,504	2,105	4,609
1945	4,289	3,584	7,873
1950	6,609	5,586	12,195
1961	6,110	5,584	11,694
1974	6,664	6,397	13,061
1988	13,957	13,142	27,099
2001	18,046	17,605	35,651
2013	22,440	22,923	45,363

Fuente: Elaboración Propia con información de Censo Nacional de Población y Vivienda INE, 2013

Anexo 8- Eficiencia de Turbina Pelton

$Q/Q_{\text{DISEÑO}}$	η
0.05	0
0.07	0.09
0.08	0.095
0.1	0.2
0.11	0.3
0.125	0.4
0.15	0.5
0.16	0.6
0.17	0.7
0.2	0.8
0.3	0.83
0.4	0.85
0.45	0.87
0.5	0.88
0.6	0.89
0.7	0.9
0.8	0.9
0.9	0.9
1	0.87

Fuente: Ing. Alicia Reyes, Clase de Energía Hidráulica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras, 2020