



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**FACTIBILIDAD DE MICRO CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN SISTEMAS DE
TUBERÍAS DE USO AGRÍCOLA EN LA LAGUNA, EL PARAÍSO, COPÁN, HONDURAS**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

21811153 WALTER AMAURY LOZANO MONROY

21811184 CÉSAR EDGARDO MEJÍA DÍAZ

ASESOR: PHD. HÉCTOR VILLATORO

CAMPUS SAN PEDRO SULA; OCTUBRE, 2021

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres, Manuel Mejía y Aly Díaz, a mi hermana Mirza, a mi abuela y a Hellen Caballero, que siempre me han enseñado a no rendirme y a seguir adelante, motivándome a llegar hasta este momento. Todo esto es por ustedes.

César

Este proyecto se lo dedico a mis padres, Walter Lozano y Rosa Monroy, a mi tía Blanca Melgar, a mis abuelos, a Allisson Barahona y a Souhaila Fakhreddine. Gracias por su apoyo incondicional y la motivación a superarme siempre. Sin ustedes este logro no sería posible.

Walter

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar a Dios por permitirnos llegar hasta esta etapa de nuestras vidas. A nuestras familias, por siempre habernos apoyado a lo largo de todo este proceso de estudio, así como en toda nuestra vida.

Al PhD. Héctor Villatoro por habernos apoyado durante el desarrollo de este proyecto y desde los inicios de nuestra carrera.

A la Ing. Vielka Barahona, por su apoyo brindado durante todo nuestro tiempo en la universidad.

A la Ing. Alicia Reyes, por su orientación durante este proyecto.

A todos nuestros catedráticos, por su dedicación al momento de enseñarnos las bases en nuestra carrera y los conocimientos para nuestro desarrollo profesional.

A nuestras amadas por siempre apoyarnos sin importar la situación.

A todos nuestros amigos y compañeros de otras facultades que hicieron de este proceso de estudios universitarios algo para recordar.

Al compañero Alessandro Granados por su apoyo en el desarrollo de los modelados 3D del proyecto.

Y a todas las personas que de una u otra manera estuvieron involucradas en el desarrollo de este proyecto.

RESUMEN

Las actividades agrícolas y ganaderas en Honduras requieren de dos recursos sumamente importantes: el agua y la energía eléctrica. A pesar de su importancia, una parte de la población rural dedicada a la agricultura o ganadería no cuenta con un servicio de energía eléctrica, ya sea por su distanciamiento de la red eléctrica nacional o por las dificultades de acceso a las zonas donde se requiere la electrificación. La presente investigación tiene como objetivo determinar la viabilidad técnica de la implementación de micro centrales hidroeléctricas en acueductos para usos agropecuarios. Este proyecto se realizó en la finca "Los Tres Pinos", ubicada en la aldea La Laguna, municipio de El Paraíso departamento de Copán. Se diseñó una micro central que cubre las necesidades de energía eléctrica del corral y de la vivienda de la finca a partir del caudal disponible en las tuberías que abastecen de agua el corral y de la diferencia de altura que podemos aprovechar. La turbina que se utilizó es del tipo Turgo. La energía eléctrica generada en el proyecto fue de 199.28 kWh al mes. Se espera que esta investigación sirva como guía para futuros proyectos de generación de energía eléctrica a pequeña escala en zonas agrícolas aprovechando los sistemas de acueductos existentes, brindando una base de ejecución de los estudios realizados para el correcto dimensionamiento de las instalaciones hidroeléctricas.

Palabras clave: factibilidad, tuberías de uso agrícola, micro centrales, hidroeléctricas.

ABSTRACT

Agricultural and livestock activities in Honduras require two extremely important resources: water and electricity. Despite their importance, a part of the rural population dedicated to agriculture or livestock does not have access to the national electric power service, either due to its distance from the national electricity grid or due to the difficulties of access to areas where electrification is required. This research aims to determine the technical feasibility of the implementation of micro hydroelectric power plants in aqueducts for agricultural uses. This project was carried out in the farm "Los Tres Pinos", located in the village La Laguna, municipality of El Paraíso department of Copán, Honduras. A micro power plant was designed that supplies the electrical energy needs of the corral and the house of the farm from the water flow available in the pipes that supply water to the corral and the difference in height that we can take advantage of. The turbine that was used is of the Turgo type. The electrical energy generated in the project was 199.28 kWh per month. It is expected that this research will serve as a guide for future micro-scale electric power generation projects in agricultural areas taking advantage of existing aqueduct systems, providing a basis for the execution of the studies carried out for the correct sizing of hydroelectric facilities.

Keywords: feasibility, agricultural pipelines, micro plants, hydroelectric plants.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.1.	PRECEDENTES DEL PROBLEMA.....	5
2.2.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	6
2.3.	JUSTIFICACIÓN.....	6
2.4.	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	7
2.5.	OBJETIVOS	7
2.5.1.	OBJETIVO GENERAL.....	7
2.5.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
III.	MARCO TEÓRICO	12
3.1.	SISTEMA ELÉCTRICO EN HONDURAS	12
3.1.1.	GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	12
3.1.2.	TARIFA ENERGÍA ELÉCTRICA EN HONDURAS.....	13
3.1.3.	COBERTURA DEL SIN.....	14
3.2.	GENERALIDADES DE LA ALDEA LA LAGUNA, EL PARAÍSO, COPÁN	16
3.3.	LUGAR DE INSTALACIÓN DE LA MICRO CENTRAL FINCA LOS TRES PINOS.....	17
3.3.1.	ACUEDUCTO DE LA FINCA LOS TRES PINOS.....	18
3.4.	SISTEMAS ELÉCTRICOS AISLADOS.....	18
3.5.	TURBINAS HIDRÁULICAS.....	19
3.5.1.	CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS.....	20
3.5.2.	PARTES PRINCIPALES DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS	21
3.6.	TURBINAS TURGO	23
3.7.	MICRO CENTRALES HIDRÁULICAS	24
3.7.2.	ETAPAS DE UN PROYECTO HIDRÁULICO	27

3.7.3.	ESTUDIOS NECESARIOS PARA UN PROYECTO HIDROELÉCTRICO.....	28
3.8.	ACUEDUCTOS GANADEROS.....	28
3.8.1.	ESTACIONES REDUCTORAS DE PRESIÓN.....	30
IV.	METODOLOGÍA	32
4.1.	ENFOQUE.....	32
4.2.	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	32
4.2.1.	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	33
4.2.2.	VARIABLES DEPENDIENTES.....	34
4.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....	36
4.3.1.	GOOGLE EARTH.....	36
4.3.2.	MANÓMETRO.....	36
4.3.3.	MEDICIÓN VOLUMÉTRICA DE CAUDAL.....	36
4.3.4.	ALTÍMETRO DIGITAL.....	37
4.3.5.	EXCEL.....	37
4.3.6.	ENTREVISTAS.....	37
4.3.7.	PERFIL DE CARGA.....	38
4.4.	MATERIALES NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO.....	38
4.4.1.	TURBINA TURGO.....	38
4.4.2.	TUBERÍA PVC.....	38
4.4.3.	ACCESORIOS DE TUBERÍA.....	38
4.4.4.	POSTES.....	38
4.4.5.	CABLE.....	39
4.5.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	39
4.6.	METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	40
4.6.1.	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA.....	40

4.6.2.	MEDICIÓN DEL CAUDAL DISPONIBLE	40
4.6.3.	MEDICIÓN DEL SALTO DE AGUA	43
4.6.4.	SELECCIÓN DE LA TURBINA A UTILIZAR.....	44
4.6.5.	PROYECCIONES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	45
4.6.6.	CÁLCULO DEL LCOE	47
4.6.7.	CÁLCULO DE FACTOR DE PLANTA	47
4.6.8.	DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEA ELÉCTRICA.....	47
4.7.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	48
V.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	49
5.1.	ANÁLISIS DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA FINCA	49
5.2.	MEDICIÓN Y PROYECCIONES DEL CAUDAL APROVECHABLE	50
5.2.1.	MEDICIÓN DEL CAUDAL TOTAL EN LA QUEBRADA EL ZAPOTE.....	50
5.2.2.	MEDICIÓN DEL CAUDAL DISPONIBLE EN EL ACUEDUCTO.....	52
5.3.	MEDICIÓN DE SALTO DE AGUA DISPONIBLE	53
5.4.	CÁLCULO DE POTENCIA ELÉCTRICA REAL A GENERAR.....	54
5.5.	ELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL GRUPO TURBINA/GENERADOR	56
5.5.1.	SELECCIÓN DE LA TURBINA.....	56
5.5.2.	SELECCIÓN DEL GENERADOR.....	56
5.6.	PROYECCIONES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	58
5.6.1.	CÁLCULO DEL FACTOR DE DISPONIBILIDAD	58
5.6.2.	ESTIMACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	59
5.6.3.	CONSUMO ELÉCTRICO PROMEDIO EN UNA VIVIENDA DEL ÁREA RURAL	61
5.6.4.	CÁLCULO DEL LCOE	61
5.7.	CONTROL DE LA GENERACIÓN ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA MICRO CENTRAL.....	62
5.8.	INSTALACIÓN DE LA MICRO TURBINA HIDROELÉCTRICA.....	64

5.9.	ENERGÍA ELÉCTRICA REAL GENERADA.....	67
5.10.	FACTOR DE PLANTA.....	69
5.11.	DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	70
VI.	CONCLUSIONES.....	71
VII.	RECOMENDACIONES.....	73
VIII.	IMPLEMENTACIÓN.....	74
IX.	TRABAJO FUTURO	75
	BIBLIOGRAFÍA.....	76
	ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Mapa del porcentaje de cobertura eléctrica en Honduras al 2018	1
Ilustración 2-Distribución del PIB de Honduras 2020	6
Ilustración 3: Esquema conceptual del sistema de generación de energía eléctrica.....	8
Ilustración 4: Diagrama de distribución de las partes del proyecto.....	9
Ilustración 5-Vivienda de los jornaleros.....	9
Ilustración 6-Corral de pastoreo y ordeño	10
Ilustración 7-Lavado del corral de ordeño.....	10
Ilustración 8-Peceras de la finca.....	11
Ilustración 9-Sistema de acueductos de la finca.....	11
Ilustración 10-Capacidad instalada en Honduras al 2019	13
Ilustración 11-Tarifas promedio de energía eléctrica en Honduras julio 2019 a septiembre 2021	14
Ilustración 12- Porcentaje de cobertura eléctrica por departamento en Honduras al 2019	15
Ilustración 13-Ubicación del municipio de El Paraíso, Copán	17
Ilustración 14-Turbina tipo Francis.....	20
Ilustración 15-Turbina de Acción (a) y Turbina de Reacción (b)	20
Ilustración 16-Turbina Axial (a); Turbina Radial (b); Turbina Tangencial (c)	21
Ilustración 17-Distribuidor de turbina Pelton.....	21
Ilustración 18-Rodete de turbina Pelton	22
Ilustración 19-Tubo de aspiración.....	22
Ilustración 20-Carcasa de una turbina tipo Francis.....	23
Ilustración 21-Turbina Turgo de eje horizontal.....	23
Ilustración 22-Diagrama de selección de turbina.....	26

Ilustración 23-Suministro de agua del corral de ordeño y pastoreo de la Finca los Tres Pinos.....	30
Ilustración 24-Estación reductora de presión #3.....	31
Ilustración 25-Estación reductora de presión #2.....	31
Ilustración 26 - Enfoque, tipo de estudio, diseño y alcance de la investigación.....	32
Ilustración 27-VARIABLES INDEPENDIENTES	33
Ilustración 28-VARIABLES DEPENDIENTES.....	34
Ilustración 29 - Medición del caudal por medio del método volumétrico	37
Ilustración 30-División política de El Paraíso Copán y asentamientos humanos.....	39
Ilustración 31-Mapa de elevaciones El Paraíso Copán.....	40
Ilustración 32-Recipiente de 19 litros.....	42
Ilustración 33-Instrumento para la redirección del caudal en el acueducto	42
Ilustración 34-Medición del tiempo de llenado de un volumen conocido	43
Ilustración 35-Interfaz de Altímetro Preciso	44
Ilustración 36-Diagrama de selección de turbina	45
Ilustración 37-Perfil de carga diario del corral y la vivienda.....	50
Ilustración 38-Quebrada El Zapote	51
Ilustración 39-Aforo de la quebrada El Zapote.....	51
Ilustración 40-Altura de la estación reductora de presión #2	53
Ilustración 41-Altura de la estación reductora de presión #3	54
Ilustración 42-Gráfica de rendimiento de la turbina con respecto al caudal turbinado.....	55
Ilustración 43-Selección del tipo de turbina hidráulica.....	56
Ilustración 44-Microturbina a instalar.....	57
Ilustración 45-Rodete tipo Turgo de la microturbina.....	57
Ilustración 46-Sistema de admisión de la microturbina.....	58

Ilustración 47-Control de la energía generada en una micro central hidroeléctrica.....	62
Ilustración 48: Circuito de control de generación de energía eléctrica de la micro central	63
Ilustración 49: Carga lastre de la micro central	64
Ilustración 50: Estación reductora de presión #3	64
Ilustración 51: Excavación de la tubería en la estación reductora de presión, techado y cercado de la zona de instalación	65
Ilustración 52: Instalación de la microturbina en la estación reductora de presión.....	65
Ilustración 53: Modelo 3D de la estación reductora de presión #3.....	66
Ilustración 54: Modelo 3D de la micro central instalada.....	66
Ilustración 55: Vista lateral de la micro central instalada	67
Ilustración 56: Vista explosionada de la microturbina y el generador	67
Ilustración 57: Medición del voltaje del generador	68
Ilustración 58: Medición de la corriente máxima entregada por el generador eléctrico	68
Ilustración 59: Parte frontal de la caja de control de la micro central.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. índice de cobertura eléctrica del departamento de Copán	16
Tabla 2-Clasificación de centrales hidroeléctricas de acuerdo con su potencia instalada	25
Tabla 3-Elección de turbina según la altura del sitio.....	25
Tabla 4-Rango de operación en turbinas de acción.....	26
Tabla 5 Cronograma de actividades	48
Tabla 6-Listado de cargas a utilizar en el corral y la vivienda.....	49
Tabla 7-Medición de caudal contenido en el acueducto.....	52
Tabla 8-Caudal contenido en la tubería.....	52
Tabla 9-Plan de mantenimiento anual	58
Tabla 10-Cálculo factor de disponibilidad.....	59
Tabla 11-Cálculo de generación de energía eléctrica	60
Tabla 12 Listado de cargas vivienda promedio en la aldea La Laguna.....	61

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-Cálculo del LCOE.....	35
Ecuación 2-Cálculo del tiempo promedio de llenado	41
Ecuación 3-Cálculo de caudal.....	41
Ecuación 4-Potencia eléctrica generada por la turbina.....	45
Ecuación 5: Cálculo del factor de disponibilidad.....	46
Ecuación 6-Cálculo de la energía eléctrica a generar.....	46
Ecuación 7:Cálculo del factor de planta	47
Ecuación 8-Cálculo de la potencia eléctrica a generar utilizando 3.92 l/s	55
Ecuación 9- Cálculo de la potencia eléctrica a generar utilizando 1.5 l/s	55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Plantilla para elaboración del perfil de cargas eléctricas	79
Anexo 2: Válvula de liberación de aire en tuberías agrícolas.....	79
Anexo 3: Modelado 3D de la micro central	80

I. INTRODUCCIÓN

En Honduras según la Comisión Nacional de Viviendas y Asentamientos Humanos CONVIVIENDA (2016) el 46.04% de la población reside en la zona rural del país, sin embargo, esta zona es la que posee el menor índice de cobertura eléctrica y los niveles más bajos de desarrollo, esto indica que se deben enfocar los esfuerzos en esta región, sin descuidar el interés de la zona urbana. Considerando que el acceso a la energía eléctrica es un elemento importante en búsqueda del desarrollo humano y el crecimiento económico, es necesario garantizar un suministro constante y de calidad a toda la población hondureña.

Según la Secretaría de Estado en el Despacho de Energía (2019) Honduras se encuentra por debajo de la tasa de electrificación promedio de la región centroamericana, además de ser uno de los países con una intensidad energética más alta, este es un indicador de una utilización no eficiente de la energía en el país.

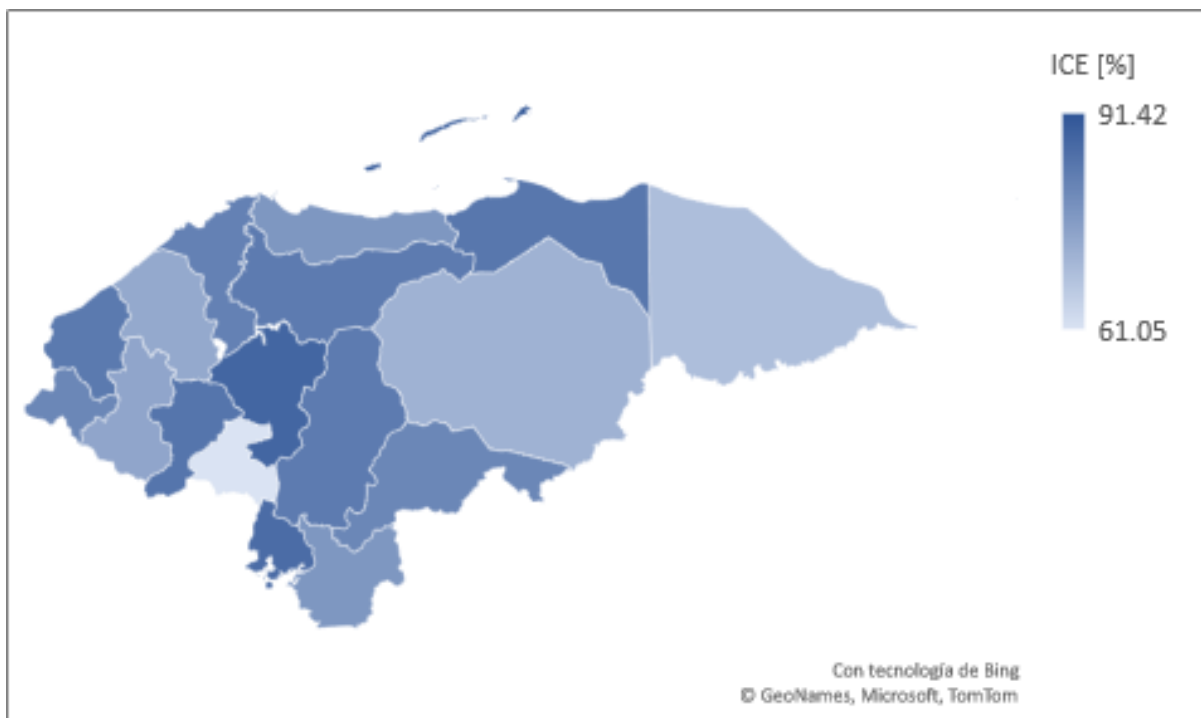


Ilustración 1: Mapa del porcentaje de cobertura eléctrica en Honduras al 2018

Fuente: Elaboración propia con datos de ENEE (2019).

Con el fin de aumentar la tasa de electrificación rural se ha optado por parte de diferentes organizaciones la implementación de micro centrales de generación de energía eléctrica con fuentes renovables, utilizando los recursos existentes en las zonas requeridas. Tal es el caso del sector agropecuario, cuyas necesidades más importantes son el acceso al agua y el acceso a la electricidad, siendo la primera imprescindible, y donde la necesidad de energía eléctrica se puede cubrir con la implementación de turbinas hidroeléctricas en los acueductos empleados para transportar el agua desde la fuente, ya sea natura o artificial, hasta el punto de entrega requerido.

Este proyecto de investigación busca dimensionar e instalar una micro central hidroeléctrica en los acueductos de una finca ganadera, aprovechando la infraestructura existente, esto con el fin de abastecer de energía eléctrica el corral de ordeño de la finca y la vivienda de los jornaleros que ahí laboran.

La instalación de la micro central experimental se realizará en la finca Los Tres Pinos, ubicada en la aldea La Laguna perteneciente al municipio de El Paraíso, departamento de Copán.

Para lograr un correcto dimensionamiento de la micro central se construirá un perfil de carga para definir la demanda a abastecer y se medirá el caudal que se transporta por el acueducto, así como la altura disponible en la zona para definir el potencial de generación de energía eléctrica en la finca Los Tres Pinos.

La investigación busca establecer una base para futuros proyectos de micro generación en fincas ganaderas demostrando la capacidad de generación de energía eléctrica y la viabilidad de los proyectos de este tipo en zonas rurales, esto para impulsar la micro generación en Honduras de una manera formal y con los estudios básicos necesarios para el correcto dimensionamiento de una micro central.

Algunos trabajos similares a este son los siguientes. García y Villanueva (2021) realizaron un diseño de sistema híbrido solar e hidroeléctrico para la electrificación de un sistema de riego para cultivos de aguacate ubicado en el municipio La Germania 1, Siguatepeque, Honduras y la iluminación de las rutas de acceso al cultivo, en el cual se aprovecha la energía hidroeléctrica contenido en un reservorio artificial. Ysaguirre y Ramos (2021) realizaron un análisis técnico y económico para determinar la viabilidad de la instalación de microturbinas

en el sistema de tuberías de agua potable en el municipio de El Negrito, Yoro, Honduras, donde dimensionó la turbina según las características de caudal y altura que posee el municipio de El Negrito y se simuló la generación de energía eléctrica de esta micro central. Morales et al. (2014) realizaron una investigación donde se detallan los criterios básicos necesarios para la implementación y desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas en Colombia, detallando el estado actual de la micro generación hidráulica en Colombia junto con las etapas y estudios de ingeniería para lograr desarrollar con éxito proyectos de micro generación hidráulica. Palomeque et al. (2020) desarrollaron en Colombia una propuesta de diseño de una minicentral hidroeléctrica para abastecer la demanda de energía eléctrica de una empresa dedicada al cultivo de flores, se estudiaron los consumos de cada sistema, equipo y dispositivo eléctrico que posee la empresa, así como el caudal disponible en el río Paute, para el análisis financiero se estimó el costo de la instalación y la TIR del proyecto. Vargas (2019) realizó un estudio ambiental de reducción de emisiones de CO₂ y ahorro económico obtenido de la implementación en los sistemas de acueductos de una microturbina para autoabastecimiento eléctrico en la central de tratamiento de agua del acueducto de San Isidro del General en Costa Rica. Gonzales y Delgado (2021) realizaron un estudio económico y de afectación hidráulica de implementación de turbina tipo lucid pipe en acueducto de agua potable en el sector del parque Timiza en Bogotá, Colombia. Criollo y Quezada (2011) realizaron un análisis técnico de Implementación de micro central hidroeléctrica en planta de tratamiento de agua en la ciudad de la cuenca en Ecuador e identificaron la oportunidad de aprovechamiento de infraestructura ya existente en la planta además del desarrollo de un análisis económico de rentabilidad. Elbatran et al. (2015) realizaron un estudio en Malaysia a cerca de las diferentes opciones de microturbinas hidroeléctricas de baja altura enfocándose en los aspectos de rendimiento, características de operación y costo de las microturbinas, enfocando este estudio como una ayuda a países en vías de desarrollo.

Este proyecto aporta un análisis de la instalación de microturbinas en el ámbito agrícola en Honduras, en una zona del país en la que no se han desarrollado este tipo de proyectos de micro generación como lo es el municipio de El Paraíso, Copán.

Esta investigación consta de cinco capítulos. El primer capítulo es el planteamiento del problema donde se establece el problema y su importancia, aquí mismo se plantean los objetivos generales y específicos y las preguntas de investigación. El segundo capítulo consta

del marco teórico donde se amplía el uso de las micro centrales en el Honduras y los componentes necesarios para desarrollar este tipo de proyectos. El tercer capítulo es la metodología usada en la investigación. En el cuarto capítulo se detallan los resultados obtenidos y el análisis de acuerdo con los objetivos de la investigación. En el quinto capítulo se muestran las conclusiones y recomendaciones para futuros proyectos relacionas con el tema de las micro centrales en acueductos ganaderos.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se expondrá el problema de investigación. Especificando los precedentes del problema y las razones por las que se desea resolver. Asimismo, se exponen las preguntas de investigación formuladas y sus objetivos.

2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA

El agua se viene utilizando desde tiempos antiguos, en sus inicios para generar fuerza motriz utilizada en trabajos manuales.

Ruedas hidráulicas más evolucionadas acompañaron el nacimiento de la era industrial, aun antes de la llegada del motor a vapor. La revolución industrial con su fuerte demanda energética movilizó el desarrollo tecnológico de los procesos de conversión de energía y la rueda hidráulica fue superada por la turbina a partir del inicio del siglo XIX. (Muguerza, 1999, pág. 4).

Actualmente la energía potencial contenida en el agua se utiliza principalmente a nivel mundial para la producción de energía eléctrica, en Honduras se cuenta con 728.95 MW de potencia instalada distribuidos en 48 plantas según la Dirección General de Electricidad y Mercados, (2019).

Según datos de la Dirección General de Electricidad y Mercados, (2019), el Sistema Interconectado Nacional (SIN) abarca alrededor del 85.02% de la población total al 2019, dentro de este porcentaje solo el 68.01% de la población rural cuenta con cobertura eléctrica. Una solución que se ha venido promoviendo en las zonas rurales del país en los últimos años por organizaciones como la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), es la implementación de micro centrales hidroeléctricas, proyectos que se han llevado a cabo con éxito en los departamentos de Atlántida, Colón, Lempira y Yoro, con centrales que van desde los 5 kW hasta los 15 kW de potencia instalada, logrando beneficiar alrededor de 1,200 familias con un suministro eléctrico confiable que antes no poseían.

En el departamento de Copán no se han desarrollado proyectos de micro generación por parte de organizaciones de una manera pública, por lo que no se conocen estudios o resultados de este tipo de trabajos.

2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En diferentes zonas rurales de Honduras aún no se cuenta con energía eléctrica estatal, lo cual dificulta muchas actividades diarias. Esto obliga a los pobladores a buscar distintas alternativas de generación de energía eléctrica, muchas veces sin los correctos estudios de viabilidad. Una de las alternativas desarrolladas es la generación de energía eléctrica descentralizada utilizando el recurso hídrico que poseen estas zonas rurales. En la actualidad los estudios hídricos de zonas específicas cuyo principal potencial es la micro generación, son escasos y de carácter privado. Por estas razones se busca evaluar el recurso hídrico presente en la aldea la laguna, El Paraíso, Copán, con el objetivo de generar energía eléctrica utilizando acueductos ya existentes.

2.3. JUSTIFICACIÓN

Según Derlagen, De Salvo, Egas Yerovi, & Pierre (2019) en un informe realizado a través del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el sector agropecuario equivale al 12.9% de Producto Interno Bruto (PIB) nacional (referirse a Ilustración 2) y representa un 35.6% de las exportaciones del país.

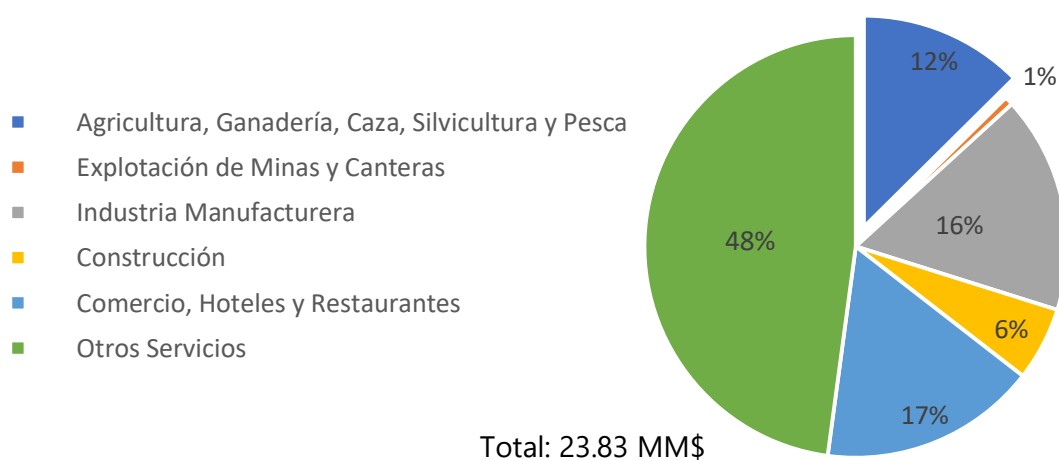


Ilustración 2-Distribución del PIB de Honduras 2020

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Banco Central de Honduras (2020)

Brindar energía eléctrica asequible y no contaminante es el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 7 establecido por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Zonas ganaderas y agrícolas como el occidente del país poseen una geografía montañosa con lugares de difícil ingreso lo que dificulta el acceso a la energía eléctrica. Los corrales y viviendas que se encuentran dentro de las fincas ganaderas en el occidente no suelen poseer un suministro eléctrico, pero si un suministro de agua que se obtiene desde elevados puntos en montañas donde existe un manantial del que se toma el caudal necesario para el uso ganadero y agrícola. Este caudal y los acueductos por los que se transportan se puede aprovechar para la generación de energía eléctrica limpia.

Esta investigación busca brindar una base para el dimensionamiento y desarrollo de proyectos de micro generación hídrica en estas zonas ganaderas que ya poseen un suministro de agua, buscando a su vez demostrar la factibilidad de este tipo de instalaciones en la aldea La Laguna de El Paraíso, Copán.

2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Existe el caudal necesario en el acueducto para la generación de energía eléctrica sin sacrificar los usos finales ya establecidos?
2. ¿Se cuenta con la altura necesaria en la zona para la generación de energía eléctrica por medio de una microturbina?
3. ¿Qué tipo de turbina se adapta más a las características del lugar?
4. ¿Cuál sería el grupo turbina/ generador adecuado para garantizar una generación eléctrica capaz de satisfacer la demanda eléctrica estimada?
5. ¿Cuál sería el costo de la energía eléctrica generada por la micro central?

2.5. OBJETIVOS

2.5.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la factibilidad técnica de una micro central hidroeléctrica ubicada en la finca Los Tres Pinos, en La Laguna, El Paraíso, Copán; basándose en el potencial de generación de energía eléctrica del caudal de agua contenido en los acueductos de la finca y en la energía real generada por una micro central experimental, para abastecer la demanda eléctrica de un corral de ordeño y una vivienda para los jornaleros de la finca.

2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar el caudal de agua disponible en el acueducto de abastecimiento del corral de la finca los Tres Pinos y las alturas disponibles en el sitio.
2. Construir un perfil de carga eléctrica con base en las proyecciones de utilización y necesidades del corral y la vivienda de la finca.
3. Definir las características del grupo turbina/generador a utilizar en la micro central.
4. Adquirir la microturbina hidroeléctrica a utilizar de acuerdo con las necesidades y características del lugar.
5. Implementar la micro central experimental en la finca.
6. Medir la generación de energía eléctrica en la micro central.
7. Determinar el porcentaje cobertura de la demanda eléctrica de las instalaciones.
8. Definir el proyecto como viable técnicamente si se abastece el 100% de la demanda eléctrica.

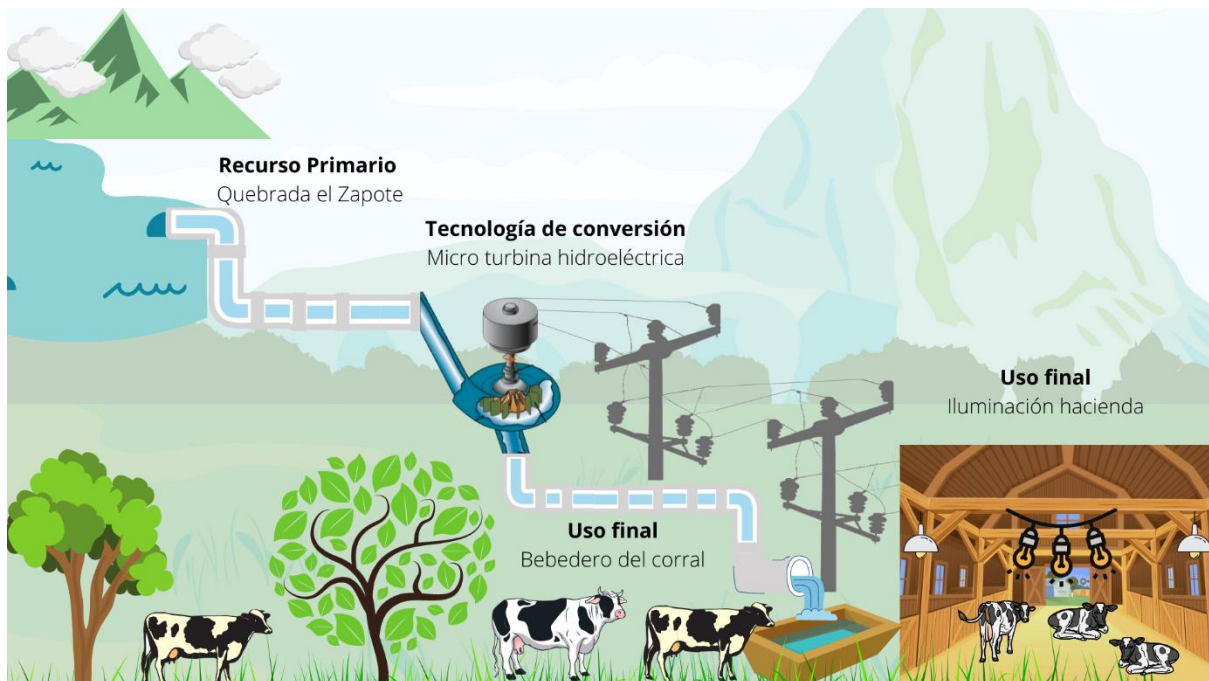


Ilustración 3: Esquema conceptual del sistema de generación de energía eléctrica

Fuente: Elaboración propia.

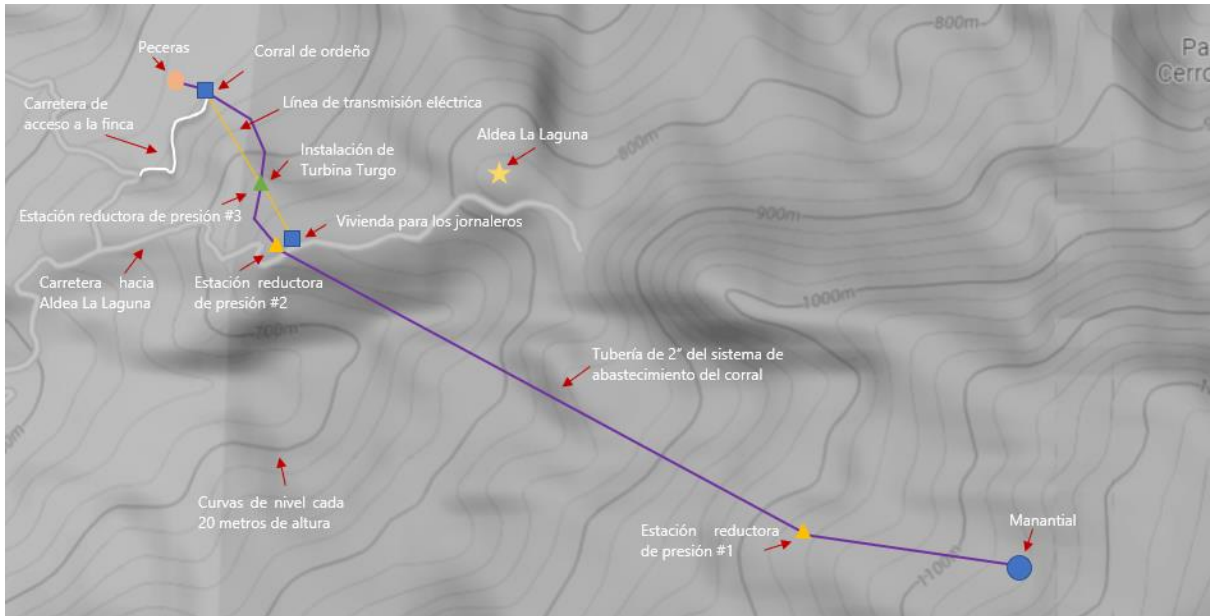


Ilustración 4: Diagrama de distribución de las partes del proyecto

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 5-Vivienda de los jornaleros

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 6-Corral de pastoreo y ordeño

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 7-Lavado del corral de ordeño

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 8-Peceras de la finca

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 9-Sistema de acueductos de la finca

Fuente: Elaboración Propia

III. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se expondrán y analizarán los conceptos básicos y aplicaciones que nos permitan validar la investigación planteada, logrando que el lector tenga una mejor comprensión del funcionamiento y desarrollo del proyecto.

3.1. SISTEMA ELÉCTRICO EN HONDURAS

El sistema energético está compuesto por dos elementos principales la oferta y la demanda energética. La oferta es la cantidad de energía disponible para ser utilizada en las diferentes actividades y la demanda es la totalidad de energía requerida por la población para el desarrollo de las actividades. (Secretaría de Energía, 2020).

Para satisfacer la demanda de energía eléctrica se emplean dos fuentes de producción las cuales son renovables que se obtiene a partir de fuentes naturales consideradas inagotables y las no renovables que también se encuentran en la naturaleza, pero son de carácter escaso o limitado.

3.1.1. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Según la Secretaría de Energía (2020) la capacidad instalada en Honduras para el año 2019 fue de 2,755.65 MW. El 62.82% de esta capacidad instalada proviene de plantas que emplean recursos renovables tales como Hidroeléctricas, Fotovoltaicas, Eólica, Geotermia y Biomasa.

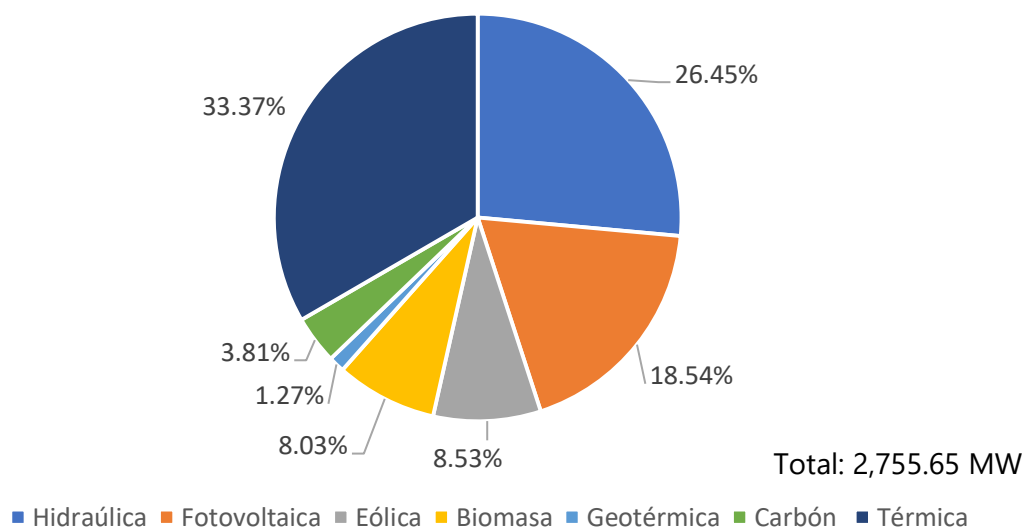


Ilustración 10-Capacidad instalada en Honduras al 2019

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Energía (2020)

IRENA (2021) afirma que la generación de energía en Honduras fue un 52% proveniente de las fuentes renovables en mayores medidas de la hidroeléctrica esto en búsqueda de una transición energética y cumplir con la meta fijada de alcanzar el 60% de generación de energía eléctrica con tecnología renovable para el año 2022.

3.1.2. TARIFA ENERGÍA ELÉCTRICA EN HONDURAS

La tarifa de energía eléctrica es el costo de la energía eléctrica que consumimos, la tarifa es calculada por la Comisión Reguladora de Energía Eléctrica (CREE) tomando en cuenta los costos de producción de la energía eléctrica que establece la ENEE. La tarifa se calcula de forma trimestral es decir a lo largo del año se emiten cuatro pliegos tarifarios que rigen el costo de la energía dividido por servicio residencial, baja tensión, media tensión y alta tensión.

En la Ilustración 11 se resumen las diferencias porcentuales que existieron entre las tarifas promedios desde el año 2019 hasta el presente, podemos observar que esta tarifa varía significativamente en el tiempo como es el caso de la tarifa vigente la cual tuvo un incremento del 9.13% con respecto al trimestre pasado esto debido a un aumento sustancial en el servicio.

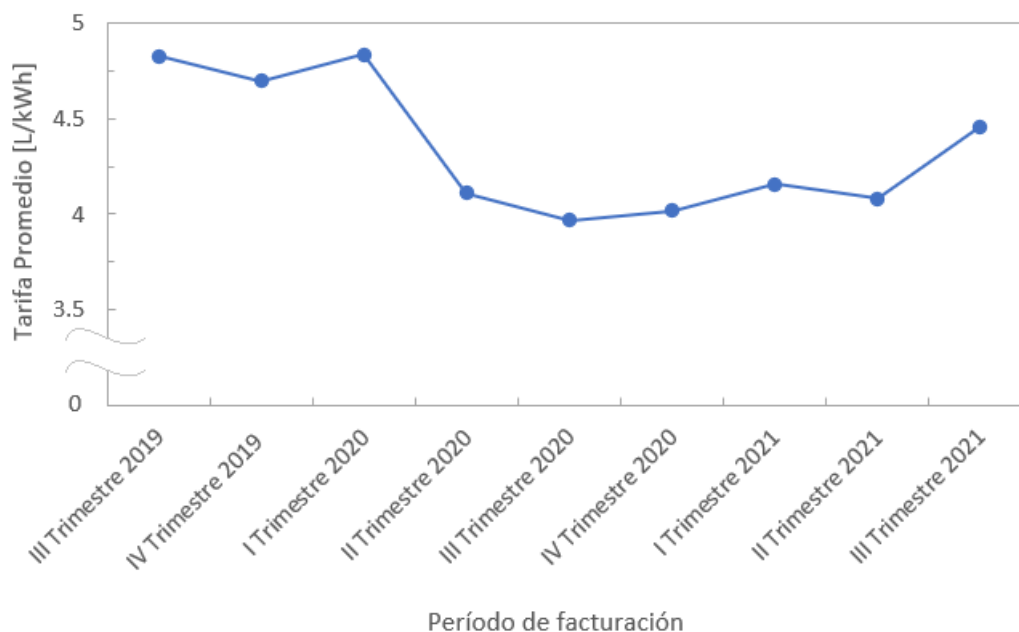


Ilustración 11-Tarifas promedio de energía eléctrica en Honduras julio 2019 a septiembre 2021

Fuente: Elaboración propia inspirada en datos de facturación de la CREE (2021)

3.1.3. COBERTURA DEL SIN

El índice de cobertura eléctrica nacional nos muestra cuál es el porcentaje de las viviendas que tienen acceso a energía eléctrica en todo Honduras, incluyendo las zonas urbanas y rurales.

Honduras cuenta con un índice global de cobertura bastante aceptable. El índice de cobertura en el año 2018 fue de 80.82%. Sin embargo, el área donde el crecimiento ha sido más lento es en la zona rural ya que en esta área el acceso y la inversión para nuevas líneas de distribución es menos rentable que en la zona urbana. En el 2018 el índice de cobertura en la zona rural fue inferior al 70%, las regiones que más se ven afectadas por esta situación es la del Norte de Olancho, La Mosquitia y El Paraíso. (ENEE, 2019).

FOSODE (2018) expone que el costo promedio para poder entregar el servicio de energía eléctrica a un nuevo abonado es de USD 992.46, el costo promedio se calculó tomando como

referencia los 120 proyectos de electrificación que fueron implementados en el 2018, a beneficio de aproximadamente 21,297 personas.

En la Ilustración 12 se muestran los porcentajes de cobertura eléctrica en los 18 departamentos de Honduras, siendo Copán el número seis en orden descendente con un 83.52%. Islas de la Bahía siendo un sistema aislado de la red, completamente privado presenta el índice de electrificación más alto, con un 91.42%.

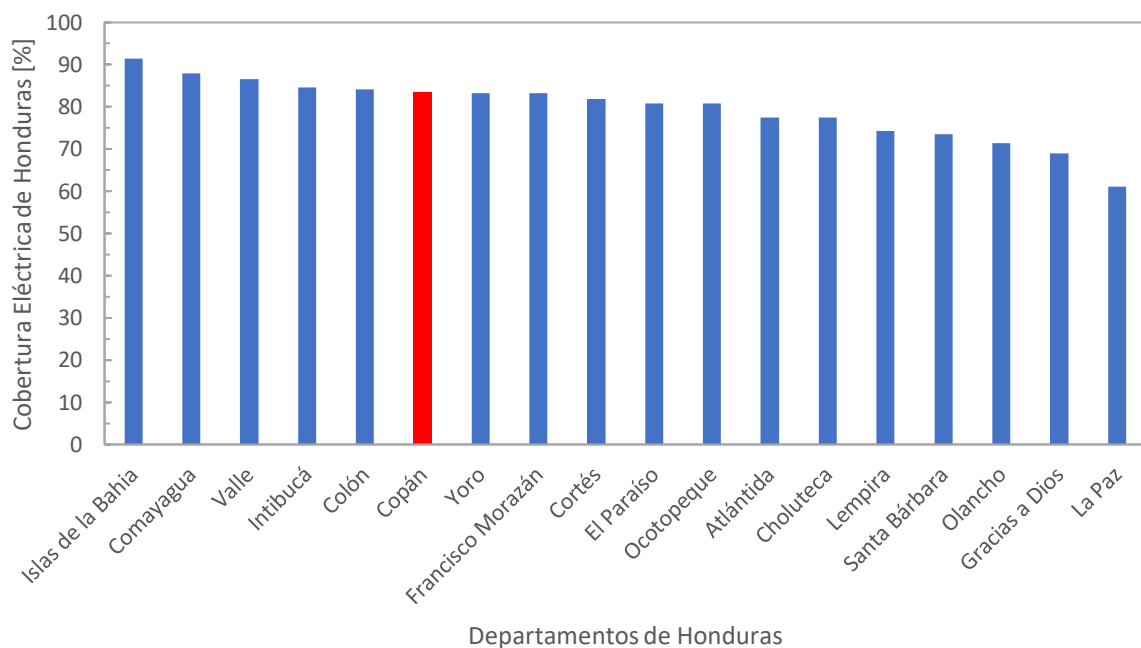


Ilustración 12- Porcentaje de cobertura eléctrica por departamento en Honduras al 2019

Fuente: Elaboración propia a partir de datos Cobertura del Servicio de Energía ENEE (2019)

En la Tabla 1 se muestra el índice de cobertura eléctrica en los 23 municipios del departamento de Copán, cuyo promedio es de un 83.52% de electrificación.

Tabla 1. índice de cobertura eléctrica del departamento de Copán

Municipios	No. Abonados	Índice [%]
Florida	5,596	61.58
La Jigua	1,832	73.68
El Paraíso	3,757	76.75
Dulce Nombre	1,276	77.55
Corquín	4,136	80.16
Santa Rosa de Copán	18,448	80.93
Concepción	1,652	82.34
San Juan de Opoa	1,957	83.67
Nueva Arcadia	14,608	84.20
Santa Rita	5,452	85.05
San José	1,581	88.72
Dolores	1,181	88.89
San Antonio	2,324	89.80
Cucuyagua	4,563	90.67
Copán Ruinas	7,834	92.59
San Agustín	1,003	92.95
Cabañas	2,483	93.75
San Nicolás	2,022	93.84
San Jerónimo	1,426	94.58
San Pedro	1,986	95.70
Veracruz	661	95.71
La Unión	3,803	96.10
Trinidad	1,397	96.68
Totales	90,975	83.52

Fuente: Elaboración propia a partir de Cobertura del servicio de energía ENEE (2019)

El municipio de El Paraíso, Copán cuenta con un índice de cobertura de 76.75% siendo el tercero más bajo del departamento, esto debido a que sus aldeas y caseríos se encuentran dispersos en sus abundantes zonas montañosas, lo cual dificulta el acceso.

3.2. GENERALIDADES DE LA ALDEA LA LAGUNA, EL PARAÍSO, COPÁN

Según datos del INE (2013) el municipio de El Paraíso Copán tiene una extensión que ronda los 252 km², y tiene 27 aldeas y 98 caseríos, con un total de 20,154 habitantes según el censo poblacional de 2018. Esta población está conformada en un 50.2% de mujeres y un

49.8% de hombres. El 58% de la población del municipio cuenta con un nivel de educación básica y el 68% de la población total se dedica a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca.

En la aldea La Laguna existen 300 viviendas, con una población total de 1,300 personas, la actividad principal de la aldea, al igual que el municipio, es la agricultura y ganadería, en zonas aledañas se encuentran alrededor de 13 corrales de ordeño y pastoreo de ganado.

La Laguna se encuentra dentro de la zona del Parque Nacional Cerro Azul, junto con las comunidades de San Joaquín y Aldea Nueva. En las cercanía de la zona fluye el Río Motagua,

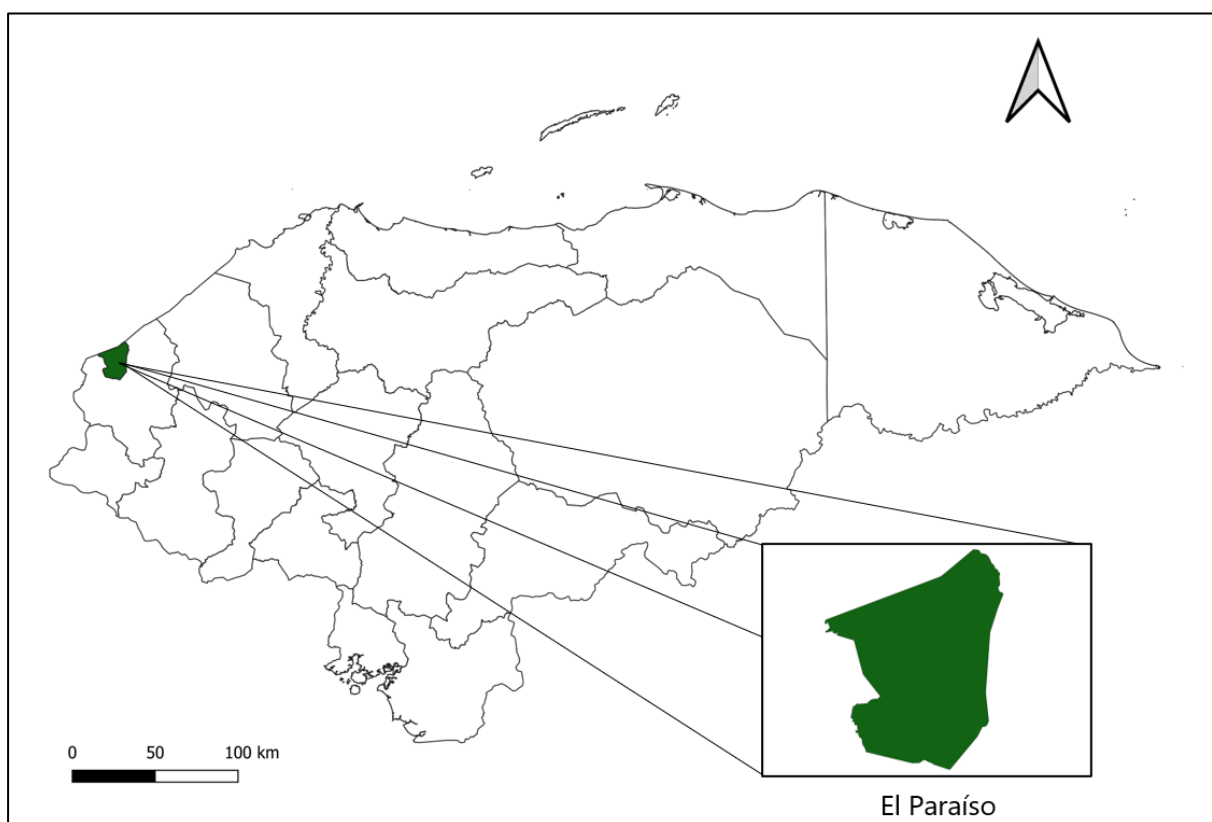


Ilustración 13-Ubicación del municipio de El Paraíso, Copán

Fuente: Elaboración propia

3.3. LUGAR DE INSTALACIÓN DE LA MICRO CENTRAL FINCA LOS TRES PINOS

La micro central se instaló en la Finca los Tres Pinos ubicada en la aldea La Laguna con el objetivo de electrificar el corral de ordeño y la vivienda de los jornaleros para facilitar las actividades que se llevan a cabo en la finca. En la finca se realizan las actividades de ordeño de alrededor de 30 cabezas de ganado vacuno y el pastoreo de 86 cabezas de gano, además

se cultivan diferentes plantas como maíz, sorgo, y diferentes tipos de pastos, todos destinados al consumo de los animales antes mencionados. La finca cuenta con dos peceras donde se cría tilapia (referirse a Ilustración 8), al igual que con una vivienda donde residen los jornales que ahí laboran (referirse a Ilustración 5) y un corral para el ordeño de las vacas (referirse a Ilustración 6).

3.3.1. ACUEDUCTO DE LA FINCA LOS TRES PINOS

El sistema de acueductos de la finca está formado por tubería de PVC para agua potable de dos pulgadas de diámetro, cuyo flujo es constante y proviene desde la quebrada El Zapote, abasteciendo de forma continua al corral donde el agua se destina al consumo del ganado y al lavado del corral durante y después del ordeño (referirse a Ilustración 7). Desde el corral el agua continúa fluyendo hasta las peceras de tilapia, donde se posee un sistema de desagüe que desemboca en un riachuelo ubicado a no más de 30 metros de las peceras.

3.4. SISTEMAS ELÉCTRICOS AISLADOS

ENEE (2019) afirma que es la responsable de cubrir el 96.6% de todos los abonados de Honduras, el otro pequeño porcentaje está cubierto por sistemas aislados como es el caso de la empresa RECO que da cobertura a los municipios de Roatán y José Santos Guardiola. La empresa BELCO que cubre el municipio de Guanaja y Utila que es cubierto por la empresa UPCO. Esto debido a que el departamento de Islas de la Bahía se encuentra en una zona marítima lejos del SIN de Honduras.

En comunidades en tierra firme como Puerto Lempira, Brus Laguna, norte de Olancho, zonas montañosas en el occidente, aún se utilizan generadores a base de combustible fósil.

El objetivo de Honduras es lograr la cobertura eléctrica nacional al 100% para el año 2024. Para poder lograr esta cobertura se necesitaría una inversión de USD 688,125,236, cabe mencionar que esto es bajo el supuesto que la cantidad de abonados solamente crecerá a un ritmo aproximado del 4% promedio anual con respecto al año 2018. (ENEE, 2019)

Es importante considerar que, aunque este tipo de ampliaciones no son rentables financieramente para la empresa, su ejecución obedece a una política subsidiaria del Estado y a una respuesta del Gobierno de la República para contribuir al desarrollo de esas comunidades. (ENEE, 2019, pág. 9)

Los sistemas hídricos resultan convenientes en muchas zonas del país, según la FHIA (2012) se identificaron 66 sitios a nivel nacional que poseen una capacidad de generar entre 5 kW y 15 kW de potencia. Siendo innumerables los lugares aptos para las centrales de menos de 5 kW debido al avance tecnológico y de diseño de las turbinas hidráulicas se pueden utilizar caudales de $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ y alturas de 2 metros para generar electricidad (referirse a Tabla 3 y Tabla 4). Un sistema de microgeneración está compuesto principalmente por la turbina, el generador y una fuente de agua que brinde energía potencial y cinética a la turbina. En las zonas ganaderas, como en este estudio la aldea La Laguna, se poseen acueductos para el agua del ganado, el agua que se transporta por dichos acueductos es aprovechables como fuente de energía para la microgeneración.

3.5. TURBINAS HIDRÁULICAS

Se le conoce como turbina hidráulica a una turbomáquina que transforma la energía contenida en un fluido en un movimiento rotativo, que se utiliza para accionar un generador de energía eléctrica o se conecta a otra máquina que aprovecha dicho movimiento rotativo.

Según Mataix (1986) todas las turbomáquinas se rigen por la ecuación de Euler, esta nos sirve para conocer la energía intercambiada en el rodete de las turbinas hidráulicas, bombas, ventiladores así como de turbocompresores y turbinas de gas y de vapor.

En la ilustración 14 se pueden observar una turbina hidráulica Francis.



Ilustración 14-Turbina tipo Francis

Fuente: WEG IBERIA INDUSTRIAL S.L.

3.5.1. CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS

Las turbinas se pueden clasificar de diferentes maneras, una de las principales es de acuerdo con el comportamiento de la presión en el rodete, si la presión cambia o no, las turbinas se clasifican en:

- a) Turbinas de acción
- b) Turbinas de reacción

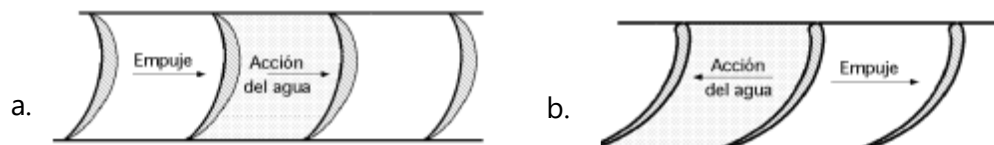


Ilustración 15-Turbina de Acción (a) y Turbina de Reacción (b)

Fuente: (Universidad de Cantabria, 1996)

Si tomamos en cuenta la dirección en la que el agua entra en la turbina se pueden dividir en cuatro tipos:

- a) Axiales
- b) Radiales
- c) Tangenciales
- d) Mixtas

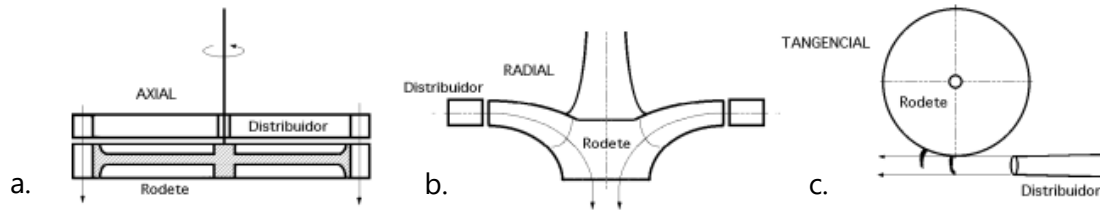


Ilustración 16-Turbina Axial (a); Turbina Radial (b); Turbina Tangencial (c)

Fuente: (Universidad de Cantabria, 1996)

3.5.2. PARTES PRINCIPALES DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS

Distribuidor: este es un elemento fijo, se encarga de dirigir el agua hacia el rodete y sirve para regular el caudal. El distribuidor posee diferentes formas dependiendo de la construcción de la turbina, en las de acción puede ser de inyector y en las de reacción puede ser axial o radial.



Ilustración 17-Distribuidor de turbina Pelton

Fuente: (Franco Tosi, s.f.)

Rodete: el rodete cumple la función de transformar la energía cinética del agua en movimiento en energía mecánica rotativa. Los rodetes son característicos de cada tipo de turbina y poseen diferentes formas y tipos de álabes distintos.



Ilustración 18-Rodete de turbina Pelton

Fuente: (Ferrada, 2012)

Tubo de aspiración: se encuentra por lo general en turbinas de reacción y se instala al final de la turbina, después del rodete conectándolo con el canal de desagüe.

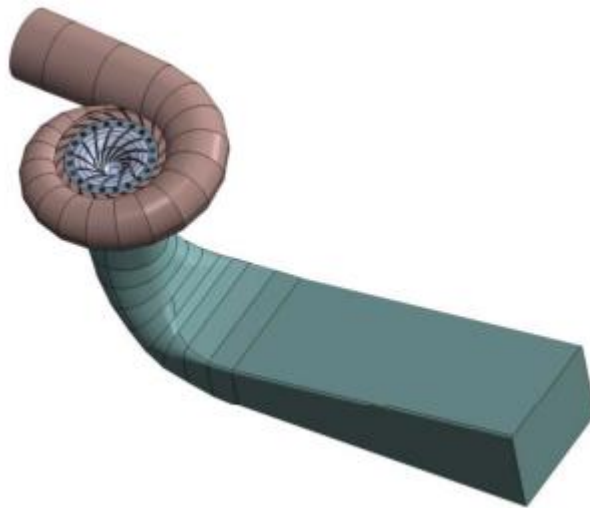


Ilustración 19-Tubo de aspiración

Fuente: (Nuñez, 2021)

Carcasa: esta parte se encarga de contener los demás componentes de la turbina y el fluido. Posee diferentes formas de acuerdo con el tipo de turbina. Como por ejemplo en las del tipo Francis y Kaplan es espiral.



Ilustración 20-Carcasa de una turbina tipo Francis

Fuente: (Muñoz & Santos, 2014)

3.6. TURBINAS TURGO

Irazusta (2018) menciona que la turbina Turgo se desarrolló en 1919 por la empresa Gilkes Energy. Esta turbina es de acción y del tipo tangencial. Formada por un rodete y un inyector muy parecido a la turbina Pelton, con la diferencia que los álabes de una turbina Turgo son la mitad de los álabes de una turbina Pelton.



Ilustración 21-Turbina Turgo de eje horizontal

Fuente: (Wasserkraft Volk AG, s.f.)

En las turbinas tipo Turgo el chorro de agua proyectado por el inyector incide en un ángulo de entre 15° y 22° con respecto al eje del rodete. Las turbinas Turgo se pueden colocar de manera horizontal o vertical, al igual que las Pelton.

Según Irazusta (2018) en el caso de las turbinas Turgo dispuestas de manera horizontal no es recomendable que el número de inyectores supere los dos, debido a la complicación de la instalación de tuberías de alimentación en un plano vertical, la ventaja que ofrece esta instalación es el fácil acceso al rodete, conveniente al momento de realizar reparaciones. Con una instalación de eje vertical es más factible instalar entre 4 y 6 chorros, esto en casos que se posea el caudal necesario para alimentar la turbina, siendo un aspecto negativo el acceso al interior de la turbina cuando se dispone de manera vertical.

Ambo Livi & Channgo Merino (2017) mencionan que la eficiencia de la turbina Turgo depende de los materiales de construcción, el diámetro del rodete, el diámetro del inyector y la carga. La eficiencia en laboratorios puede llegar hasta un 90% y en aplicaciones de plantas hidroeléctricas se alcanza un 87%, siendo esta menor al 92% que presentan las turbinas Pelton, pero en aplicaciones menores las turbinas Turgo presentan un mayor beneficio en relación al costo de la instalación.

Las turbinas Turgo son en general simples, necesitando mantenimientos mínimos y una alta confiabilidad, las turbinas Turgo operan en un amplio rango de caudales (referirse a Tabla 4). Por estas razones las turbinas Turgo se suelen utilizar para aplicaciones en microcentrales.

3.7. MICRO CENTRALES HIDRÁULICAS

Morales et al. (2014) definen a una pequeña central hidroeléctrica como la maquinaria electromecánica e hidráulica así como las obras civiles cuyo objetivo es transformar la energía contenida en agua fluyente en energía eléctrica aprovechable generalmente en autoconsumo en el mismo sitio donde se genera.

Actualmente no existe una regla general para clasificar las centras hidroeléctricas y distintas organizaciones proponen diferentes clasificaciones según la potencia instalada de la central.

En la Tabla 2 se presenta la clasificación según la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

Tabla 2-Clasificación de centrales hidroeléctricas de acuerdo con su potencia instalada

Organización	Micro Central	Minicentral	Pequeña Central
OLADE	< 50 kW	51 – 500 kW	500 – 5000 kW

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la OLADE.

Para elegir la turbina ideal se deben tomar en cuenta las características del sitio de instalación y las necesidades. Los principales criterios para tomar en cuenta según la FHIA (2009) son:

1. Características del sitio (a filo de agua o embalse reducido).
2. Caída vertical.
3. Caudal disponible.
4. Velocidad del rodete y la velocidad requerida del generador.
5. Posibilidades para operar la Micro central Hidroeléctrica (MHT) con caudales reducidos.

De acuerdo con la altura vertical que se posee en el sitio en la Tabla 3 se muestran los criterios de elección para los tipos de turbinas más comunes.

Tabla 3-Elección de turbina según la altura del sitio

Tipo de turbina	Rango de altura (m)
Kaplan y Propelas	2-40
Banki/Mitchell	2-25
Francis	10-350
Turgo	50-250
Pelton	50-1300

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

Al tomar en cuenta el caudal disponible y las revoluciones por minuto (RPM) que podemos obtener en el eje de las turbinas de acción se clasifican según la Tabla 4.

Tabla 4-Rango de operación en turbinas de acción

Turbina	RPM	Q (m ³ /s)
Pelton de 2 Inyectores	30 -50	0.05 - 50
Turgo	60 - 260	0.025 - 10
Banki/Michell	40 - 200	0.05 - 5

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Morales, Corredor, Paba, & Pacheco (2014).

A partir de los criterios de caudal y altura nace el diagrama de la Ilustración 22, una útil herramienta a la hora de elegir la turbina adecuada para la aplicación necesaria.

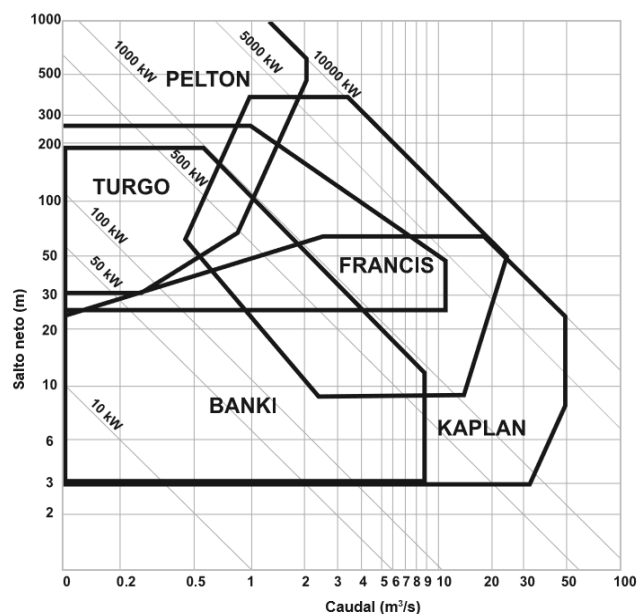


Ilustración 22-Diagrama de selección de turbina

Fuente: (Fernández Mosconi, Audisio, & Marchegiani , 2003)

3.7.2. ETAPAS DE UN PROYECTO HIDRÁULICO

Según Morales, Corredor, Paba, & Pacheco (2014) los estudios que se requieren poner en operación una micro central hidroeléctrica son:

1. Inventario
2. Reconocimiento
3. Prefactibilidad
4. Factibilidad
5. Diseño
6. Construcción
7. Puesta en marcha

Inventario: este busca enlistar las poblaciones sin acceso a la energía eléctrica para identificar aquellas que posean condiciones necesarias para implementar un proyecto de micro generación.

Reconocimiento: se debe visitar el lugar determinado y establecer el punto más adecuado para la instalación de la micro central.

Prefactibilidad: este estudio busca establecer el potencial de la zona definida, analiza las diferentes caídas que se pueden aprovechar y ofrece un análisis económico preliminar. Del estudio de prefactibilidad se decide el futuro del proyecto, si se continúa investigando o se procede a un estudio de factibilidad.

Factibilidad: definen una justificación para el proyecto, tanto de manera técnica, económica, financiera, sociales y ambientales. Buscan establecer si el proyecto es lo suficientemente bueno como para llevarlo a cabo.

Diseño: este comienza luego de definir con claridad la mejor opción de construcción y componentes del proyecto y del lugar.

Construcción: la construcción se realiza de acuerdo con el diseño y al cronograma del proyecto.

Puesta en marcha: Se realizan las pruebas finales y se pone en operación la central hidroeléctrica.

3.7.3. ESTUDIOS NECESARIOS PARA UN PROYECTO HIDROELÉCTRICO

Según Morales, Corredor, Paba, & Pacheco (2014) la construcción de una microcentral requiere diversos estudios cuyo objetivo es brindar una visión de las mejores formas de aprovechar el recuso hídrico al que se tiene acceso y disernir la mejor opción a construir.

Entre los estudios que se pueden realizar se encuentran:

Estudio de la demanda: es de suma importancia conocer la demanda que buscamos suplir; se debe definir el consumo actual y con base en este, proyectar a un período de tiempo determinado.

Estudio topográfico y cartográfico: es importante conocer la energía potencial contenida en el agua, para que esta contenga energía potencial se necesita una diferencia de altura, esta se determina con base en mapas cartográficos. En muchos casos no hay mapas cartográficos por esta razón se debe realizar el estudio.

Estudio hidrológico: este busca determinar el caudal disponible en el río que se utilizará, realizando mediciones por diferentes métodos como ser el método del recipiente, método del vertedor, método del flotador (FHIA, 2009).

Estudio de potencial energético: teniendo los datos de caudal, altura y rendimiento de la turbina y el generador se puede estimar la potencia que la microcentral entregará.

3.8. ACUEDUCTOS GANADEROS

Un acueducto ganadero es un sistema hídrico pequeño construido con la finalidad de brindarle la mayor cantidad de agua al ganado, sin contaminar los yacimientos hídricos, además de evitar que el ganado tenga que recorrer grandes distancias para poder beber agua (USAID, 2010).

Al mantener el ganado bien hidratado se mejora su condición física además de su producción de leche y carne. La necesidad de la implementación de los acueductos surge

debido a la división sostenible de parcelas, al realizar esta actividad muchas parcelas no cuentan con una fuente de agua cercana.

El suministro de agua debe de ser constante debido a que una vaca de un peso de 375 kg consume una cantidad aproximada de 35 litros de agua al día. Es importante aclarar que la cantidad de agua consumida depende de muchos factores difíciles de controlar como ser temperatura, humedad, cambios climáticos entre otros. (Winston Quevedo, 2019).

Para la implementación de un acueducto ganadero es necesario la identificación del nacimiento de agua, se debe de identificar una fuente con un caudal permanente en verano e invierno, además la mejor opción es que el suministro de agua se pueda realizar por gravedad para disminuir costos de operación y mantenimiento de bomba de agua. Es importante considerar que el costo de implementación varia si es necesario realizar el bombeo de agua y la distancia hasta el yacimiento.

Los sistemas de acueducto mejoran el bienestar el animal al tener una fuente de agua sostenible y además disminuye la contaminación ambiental sobre las fuentes hídricas evitando la contaminación por estiércol y la erosión del suelo por un pastoreo excesivo, lo cual posibilita la reforestación de las zonas cercanas a fuentes hídricas. (USAID, 2010).



Ilustración 23-Suministro de agua del corral de ordeño y pastoreo de la Finca los Tres Pinos

Fuente: Elaboración propia.

3.8.1. ESTACIONES REDUCTORAS DE PRESIÓN

Las estaciones reductoras son estructuras o depósitos pequeños que son colocados en los tramos de acueductos cuando la presión estática es mayor que la presión que soporta la tubería. Permiten disipar la energía del fluido hasta la presión atmosférica. También ayudan al mantenimiento de los acueductos como puntos de acceso para reparación de obstrucciones por tierra u otros materiales extraños. (La Industria Cárnica Latinoamericana, 2018)



Ilustración 24-Estación reductora de presión #3

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 25-Estación reductora de presión #2

Fuente: Elaboración propia.

IV. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología que se utilizará para desarrollar el proyecto, detallando también las variables de investigación tanto dependientes como independientes. De la misma manera se muestran herramientas y técnicas que son de ayuda para la investigación y desarrollo del proyecto.

4.1. ENFOQUE

El estudio se realizó bajo un enfoque cuantitativo ya que posee un orden lógico y secuencial, que involucra y calcula datos cuantitativos sobre las variables de investigación ya sean dependientes o independientes, así como las características de la zona de implantación, así como las mediciones y cálculos necesarios para el dimensionamiento del sistema a instalar.

El alcance es exploratorio, ya que no se poseen estudios de potencial de micro generación en esta zona del occidente de Honduras, y esta investigación busca brindar una base para el diseño y construcción de proyectos orientados al uso de acueductos ganaderos para la generación de energía eléctrica utilizando microturbinas.

Enfoque	Estudio	Diseño	Alcance
•Cuantitativo	•No experimental	•Transversal	•Exploratorio

Ilustración 26 - Enfoque, tipo de estudio, diseño y alcance de la investigación

Fuente: Elaboración propia.

4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

En esta sección se definen las variables que brindan las cualidades y características del caso de estudio. Los valores de las variables pueden ser alterados por el diseño, implementación y se pueden dividir en variables independientes y dependientes.

4.2.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes son aquellas cuyos cambios afectan a las variables dependientes. En la Ilustración 27 se enumeran las variables independientes a considerar en el proyecto.

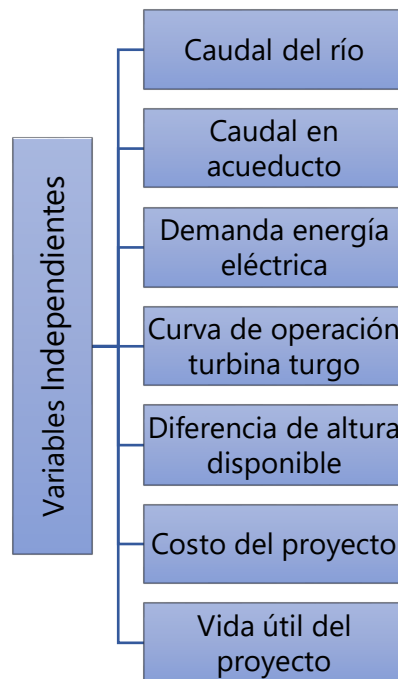


Ilustración 27-Variables independientes

Fuente: Elaboración propia

a) Caudal del río

El caudal del río es una variable que nos permite conocer el agua disponible en la zona.

b) Caudal en acueducto

El caudal en acueducto nos determina la cantidad de agua que se traslada desde la fuente hídrica hasta el uso final en la hacienda.

c) Demanda energía eléctrica

La demanda de energía eléctrica está basada en el consumo promedio que tiene una vivienda en la zona rural y el consumo por iluminación en un corral de ordeño de una hacienda.

d) Curva de operación turbina Turgo

La curva de operación de la turbina Turgo permite dimensionar el rendimiento que tendrá la turbina con referencia al caudal de diseño que se especifique.

e) Diferencia de altura disponible

El terreno montañoso permite obtener diferencias de altura entre puntos de referencia del acueducto. Esto nos permite seleccionar la ubicación más idónea para la turbina.

f) Costo del proyecto

Los costos del proyecto afectan directamente el flujo de caja de los proyectos. Estos pueden ser costos fijos como el costo del capital o pueden ser variables como costos por seguros, remplazo de maquinaria.

g) Vida útil del proyecto

La vida útil de la micro central nos permite estimar la cantidad de años en la cual se generará energía eléctrica en la zona de forma estable y poder determinar parámetros financieros del proyecto.

4.2.2. VARIABLES DEPENDIENTES

Las variables dependientes son aquellas que pueden ser investigadas y medidas para conocer el efecto que tienen los cambios de las variables independientes sobre las dependientes.

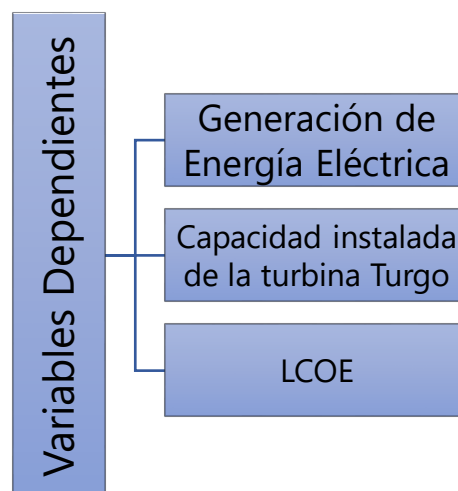


Ilustración 28-Variables dependientes

Fuente: Elaboración propia

a) Generación de Energía

La generación de energía eléctrica es la que obtenemos de la micro central que aprovecha el agua. La energía generada será destinada para cubrir la demanda de iluminación del corral de ordeño y la vivienda para jornaleros.

b) Capacidad instalada de la turbina Turgo

La potencia de la turbina se definirá de acuerdo con el caudal de diseño y la diferencia de altura que existe en la zona donde se ubicará.

c) Levelized Cost of Energy (LCOE)

El Levelized Cost of Energy o Costo Nivelado de la Electricidad en español, nos muestra cuánto cuesta producir una unidad de energía a lo largo de la vida útil del proyecto, se representará en [\$/kWh]. El LCOE se calcula por medio de la Ecuación 1.

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

Ecuación 1-Cálculo del LCOE

Donde:

- LCOE = Costo nivelado de la electricidad [\$/kWh]
- m = Vida útil [años]
- n = Período de evaluación [años]
- CC = Costo de capital total [\$/]
- O&M = Costos de operación y mantenimiento [\$/]
- Fuel Cost = Costo por combustible [\$/]
- EGen = Energía eléctrica generada [kWh]

Fuente: (Phd. Héctor Villatoro, Clase de Energía Termosolar y Fotovoltaica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras)

4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

4.3.1. GOOGLE EARTH

Según la empresa Google (2015), Google Earth pro es un programa desarrollado por Keyhole Inc. que nos permite visualizar imágenes del planeta, esto a partir de la combinación de imágenes satelitales y mapas. Este programa integra el motor de búsqueda de Google para poder ubicar lugares específicos del planeta.

4.3.2. MANÓMETRO

“Los medidores de presión, también conocidos como manómetros, se usan para detectar e indicar la presión física de líquidos y gases. En la mayoría de los casos se mide la presión relativa, que es relativa a la presión atmosférica” (PCE Instruments).

4.3.3. MEDICIÓN VOLUMÉTRICA DE CAUDAL

Existen varios métodos para el aforo de un caudal, dependiendo de las características del lugar se pueden utilizar vertederos, el método volumétrico, métodos químicos, aforos con flotadores, entre otros. El método para utilizar depende de las características físicas de cauce que contiene el caudal que se busca medir.

El método volumétrico consiste en llenar un volumen conocido con el caudal que se quiere conocer y tomar el tiempo en que el recipiente tarda en llenarse. Es conveniente realizar varias mediciones para reducir el error en el dato de caudal obtenido. En caudales que se encuentran contenidos en tuberías es fácilmente aplicable el método volumétrico.



Ilustración 29 - Medición del caudal por medio del método volumétrico

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4. ALTÍMETRO DIGITAL

Un altímetro es un instrumento usado para medir la diferencia de altura en un punto de interés y un punto de referencia que por lo general es el nivel del mar. Gracias al avance de la tecnología los propios teléfonos móviles pueden convertirse en altímetros y realizar mediciones con gran precisión gracias a triangulaciones satelitales y sensores de presión contenidos en la mayoría de los dispositivos móviles actuales.

4.3.5. EXCEL

“Microsoft Excel es una hoja de cálculo desarrollada por Microsoft para Windows. Cuenta con cálculo, herramientas gráficas, tablas calculares y un lenguaje de programación macro. Excel permite a los usuarios elaborar tablas y formatos que incluyan cálculos matemáticos mediante fórmulas” (Microsoft, 2020).

4.3.6. ENTREVISTAS

Se realizan entrevistas con las personas que habitan la vivienda y laboran en el corral de ordeño y pastoreo a fin de obtener datos de consumo y utilización de energía eléctrica que sean útiles para nuestra investigación.

4.3.7. PERFIL DE CARGA

Un perfil de carga es la representación gráfica de la potencia demandada a través del tiempo. Los perfiles de carga se utilizarán como una herramienta para establecer el pico de demanda del corral y la vivienda con el objetivo de brindar una base dimensionar la capacidad de la turbina, buscando que cumpla con la demanda máxima que se da a lo largo del día.

4.4. MATERIALES NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO

4.4.1. TURBINA TURGO

La turbina junto a un generador de energía eléctrica logra transformar la energía potencial y cinética contenida en el agua en energía mecánica y luego en energía eléctrica. Esta se ubicará en una estación reductora de presión que se encuentra entre el corral y la vivienda.

4.4.2. TUBERÍA PVC

Esta se utiliza para realizar las modificaciones necesarias en el sistema de acueductos para acoplar la turbina y poder suministrar el caudal necesario para su funcionamiento. El acueducto está construido con tubería de dos pulgadas.

4.4.3. ACCESORIOS DE TUBERÍA

Se utilizan para controlar y desviar el flujo del agua antes y después de la turbina. Entre los materiales a utilizar se encuentran válvulas, codos, tees, pegamento para PVC, manómetro, reducciones.

4.4.4. POSTES

Se utilizan postes de madera con el fin de conducir el flujo eléctrico desde el generador acoplado a la turbina hasta la vivienda de los jornaleros y hasta el corral de ordeño y pastoreo. Los postes se dispondrán cada 65 metros, la totalidad de los tramos entra la turbina y el corral y la turbina y la vivienda ronda los 450 metros.

4.4.5. CABLE

Se utiliza cable N°6 AWG forrado como conductor de la energía eléctrica desde la micro central hasta el corral y la vivienda y cable N°6 AWG desnudo para el conductor neutro.

4.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

Esta investigación se llevó a cabo en la aldea La Laguna ubicada en el municipio de El Paraíso en el departamento de Copán. Una zona dedicada principalmente a la ganadería y al cultivo de café. La aldea se encuentra en una zona montañosa con elevaciones entre los 750 metros y los 1,000 metros de altura sobre el nivel del mar (referirse a Ilustración 30 e Ilustración 31).

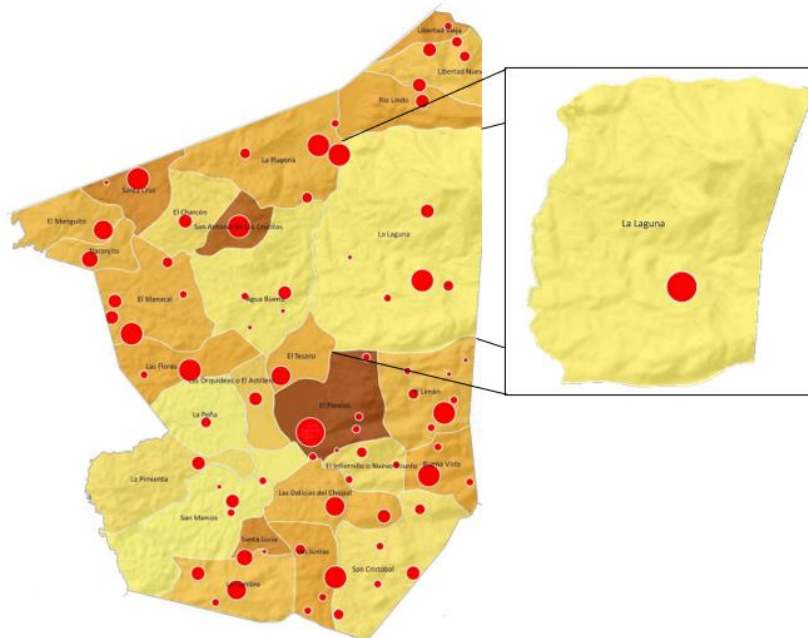


Ilustración 30-División política de El Paraíso Copán y asentamientos humanos

Fuente: (Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre ICF, 2015)

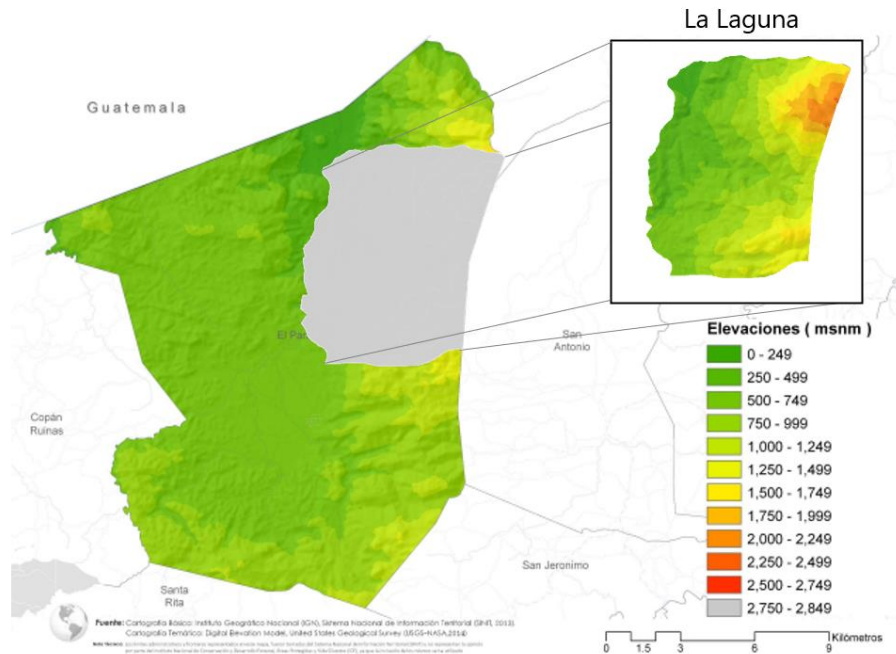


Ilustración 31-Mapa de elevaciones El Paraíso Copán

Fuente: (Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre ICF, 2015)

4.6. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

4.6.1. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA

Al estudiar la demanda se busca encontrar el pico máximo de demanda que se posee a lo largo de un día. Un instrumento muy útil para observar el comportamiento de la demanda a lo largo de un día son los perfiles de carga. Los perfiles de carga se desarrollan por medio de listados de cargas en el corral de ordeño y en la vivienda, completando esta información con entrevistas a los jornaleros que trabajan en la finca y residen en la vivienda.

4.6.2. MEDICIÓN DEL CAUDAL DISPONIBLE

El caudal disponible en el acueducto se calculó por medio del método volumétrico, utilizando un recipiente de 19 litros (referirse a Ilustración 32). El caudal se redirigió desde la estación reductora de presión hacia la parte superior por medio de un arreglo de tubos de PVC de dos pulgadas y dos codos de PVC (referirse a Ilustración 33) con el objetivo de poder captar la totalidad del caudal en el recipiente. Se debe tomar el tiempo que tarda en llenarse el recipiente en su totalidad, entre más mediciones se tengan más preciso será el resultado.

Según la FHIA (2009) se debe de calcular el promedio de tiempos de llenado y luego dividir el volumen del recipiente entre el tiempo promedio de llenado, los cálculos se describen por medio de las Ecuaciones 2 y 3.

$$t \text{ promedio} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n}$$

Ecuación 2-Cálculo del tiempo promedio de llenado

Donde:

- t promedio = Tiempo promedio de llenado [s]
- t = Tiempo de llenado [s]
- n = Cantidad de ensayos de tiempo de llenado [-]

Fuente: (FHIA, 2009)

$$Q = \frac{V}{t \text{ promedio}}$$

Ecuación 3-Cálculo de caudal

Donde:

- Q = Caudal [l/s]
- V = Volumen conocido [l]
- t promedio = tiempo promedio de llenado [s]

Fuente: (FHIA, 2009)



Ilustración 32-Recipiente de 19 litros

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 33-Instrumento para la redirección del caudal en el acueducto

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 34-Medición del tiempo de llenado de un volumen conocido

Fuente: Elaboración propia

4.6.3. MEDICIÓN DEL SALTO DE AGUA

La diferencia de elevación que existe entre la boca toma de agua más cercana y el sitio donde se instalará la turbina es un parámetro que nos permite determinar en qué rangos de potencia nominal eléctrica se puede seleccionar la turbina. Para poder identificar la diferencia de altura nos apoyamos de una altímetro digital compatible con celulares inteligentes el cual se le conoce como Altímetro Preciso. Esta herramienta permite validar la altura existente entre la estación reductora de presión ubicada en la casa de jornaleros y la estación reductora de presión más cercana al corral de ordeño. El altímetro para el cálculo de la elevación del terreno utiliza un mapa de elevaciones global y se reduce el error de lectura con la implementación del sensor de presión ubicado en el dispositivo móvil y triangulaciones de señales satelitales.

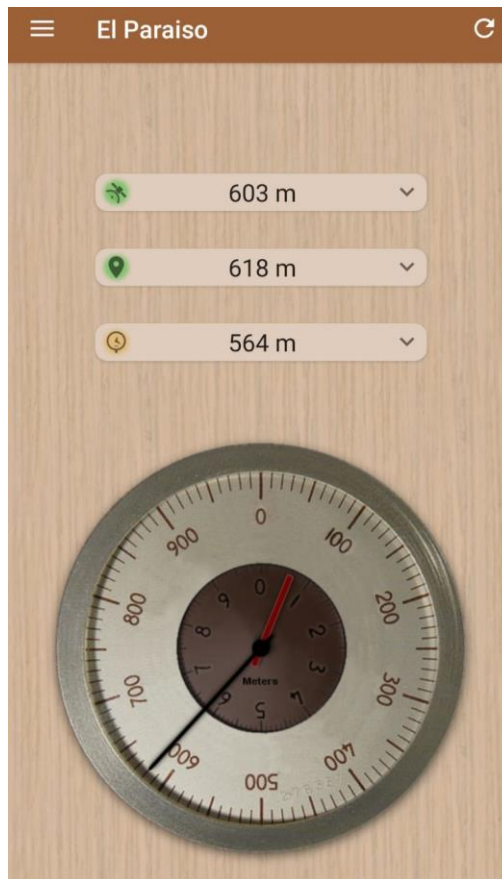


Ilustración 35-Interfaz de Altímetro Preciso

Fuente: (AR Labs, 2017)

4.6.4. SELECCIÓN DE LA TURBINA A UTILIZAR

La turbina se selecciona siguiendo como base los datos recabados en el sitio con respecto al caudal disponible, la diferencia de altura que podemos aprovechar y la demanda que buscamos abastecer.

De acuerdo con el diagrama mostrado en la Ilustración 36 se puede seleccionar un tipo de turbina tomando en cuenta el caudal y la altura del lugar.

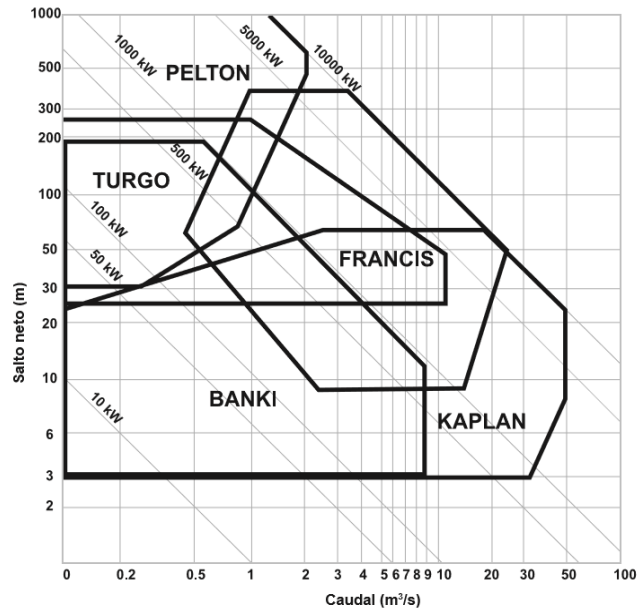


Ilustración 36-Diagrama de selección de turbina

Fuente: (Fernández Mosconi, Audisio, & Marchegiani, 2003)

Basándonos en la demanda y la potencia disponible en el lugar se selecciona el generador que tendremos acoplado a la turbina.

4.6.5. PROYECCIONES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La proyección de generación de energía eléctrica se realizará con la implementación de una hoja de cálculo en Excel, en la cual se estima la potencia que puede producir la turbina tomando en cuenta el caudal de diseño que se determinará con la medición del caudal promedio existente en el acueducto y la altura que se tiene disponible en el sitio. También se calcula el rendimiento de la turbina tipo Turgo para cada porcentaje de caudal turbinado en relación con el caudal de diseño de la turbina. Por medio de la Ecuación 4 se puede proyectar la potencia eléctrica generada en las condiciones vistas en los análisis de caudal. De este análisis de potencia generada se desprende la estimación de la generación de energía que se tendría en un año. (referirse a Ecuación 6).

$$P = g * Q * H * \rho * \eta * R$$

Ecuación 4-Potencia eléctrica generada por la turbina

Donde:

- P= Potencia eléctrica real generada [kW]
- g= Magnitud de la gravedad = 9.81 [m/s²]
- Q= Caudal de diseño [m³/s]
- H= Diferencia de altura [m]
- ρ= Densidad del agua 1,000 [kg/m³]
- η= Rendimiento de la turbina con respecto al caudal [%]
- R = Rendimiento del generador eléctrico [%]

Fuente: Ing. Alicia Reyes, Clase de Energía Hidráulica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras, 2021.

Para proyectar la energía eléctrica se utilizará un factor de disponibilidad, ya que tiene una potencia constante debido a que el caudal en la tubería también lo es, se puede utilizar este factor de disponibilidad para calcular cuanta energía eléctrica se generaría. Este factor se calcula dividiendo las horas de generación de energía eléctrica al año, calculadas con base en mantenimientos y posibles fallas en la tubería o en la micro central por fuertes lluvias o desperfectos, entre las horas en un año de la siguiente forma:

$$FD = \frac{\text{Horas de generación al año}}{\text{Horas en un año}}$$

Ecuación 5: Cálculo del factor de disponibilidad

$$E = P * T * FD$$

Ecuación 6-Cálculo de la energía eléctrica a generar

Donde:

- E = Energía generada [kWh]
- P= Potencia eléctrica real generada [kW]
- T= Tiempo de uso de la turbina [h]
- FD = Factor de disponibilidad [-]

Fuente: Ing. Alicia Reyes, Clase de Energía Hidráulica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras, 2021.

4.6.6. CÁLCULO DEL LCOE

En el cálculo del costo nivelado de la electricidad se tomará en cuenta la energía generada teóricamente a lo largo de la vida útil del proyecto con base en la proyección de generación, además el costo de capital total en el cual se incluirá el costo de fabricación de la turbina, la modificación al acueducto para alimentación de turbina y el costo de operación y mantenimiento durante todo el tiempo de operación de la turbina hasta el final de su vida útil.

En la Ecuación 1 se muestra el cálculo del LCOE.

4.6.7. CÁLCULO DE FACTOR DE PLANTA

El factor de planta o también conocido como factor de capacidad nos permite medir la productividad de energía eléctrica que tendrá el grupo turbina generador. Este resultado se presenta como un porcentaje con base en la potencia nominal instalada. Para el cálculo del factor de planta se toma en cuenta las horas en las que el grupo turbina generador no está en funcionamiento debido a mantenimientos o por fallas en el suministro de agua.

$$FP = \frac{\text{Potencia Real} * \text{Horas de generación al año}}{\text{Potencia Instalada} * \text{Horas en un año}}$$

Ecuación 7: Cálculo del factor de planta

4.6.8. DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEA ELÉCTRICA

Para la electrificación del corral de ordeño y la vivienda utilizada por los jornaleros, se dimensionará una red de distribución eléctrica aislada que comunique dichos puntos con la micro central. La red de distribución será construida de acuerdo con normativa de la ENEE que dicta la distancia entre postes para zonas rurales de entre 100 a 60 metros, la trayectoria de los postes se buscará que sea la menos accidentada posible topográficamente. El conductor se dimensionará con respecto a la carga y su debido crecimiento anual. Se implementará que en los primeros 10 años la corriente de línea no exceda el 60% de la capacidad nominal del

conductor como lo dicta la normativa de la ENEE para la construcción de líneas de distribución privadas.

4.7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la Tabla 5 se presentan las actividades que se realizaron para poder llevar a cabo la investigación.

Tabla 5 Cronograma de actividades

Actividades	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Antecedentes del problema	■									
Definir el problema	■									
Marco teórico		■	■			■				
Trabajo de campo			■		■					
Metodología			■			■				
Obtención de resultados				■	■					
Introducción y resumen							■			
Conclusiones y recomendaciones								■	■	
Redacción de artículo científico								■	■	
Elaboración del modelo 3D									■	■

Fuente: Elaboración Propia

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de las mediciones de caudal, las mediciones de altura, las proyecciones de utilización de la energía eléctrica y las proyecciones de generación de energía eléctrica en la micro central.

5.1. ANÁLISIS DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA FINCA

El perfil de carga se desarrolló con base en una proyección de las cargas eléctricas que se van a utilizar en el corral y la vivienda con base en la utilización proyectada a lo largo de un día (24 horas). En la tabla 6 se describen los aparatos que se necesitan en el corral y la vivienda.

Tabla 6-Listado de cargas a utilizar en el corral y la vivienda

Área	Descripción de la carga	Cantidad	Potencia unitaria [W]	Potencia Total [W]	Factor de Potencia [-]	Potencia Real [W]
Corral de ordeño y pastoreo	Foco LED	10	9	90	0.5	45
	Reflector LED	2	100	200	0.5	100
	Bomba para pecera	1	150	150	0.4	60
	Amoladora de banco	1	300	300	0.4	120
Vivienda de jornaleros	Foco LED	3	9	27	0.5	13.5
	Cargador de teléfono	2	4	8	0.4	3.2
	Equipo de sonido	1	60	60	0.55	33
	Televisor Pequeño	1	60	60	0.7	42
Potencial Total [W]						416.7

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la potencia y a la información de proyecciones de utilización brindada por los jornaleros se elaboró el siguiente perfil de cargas:

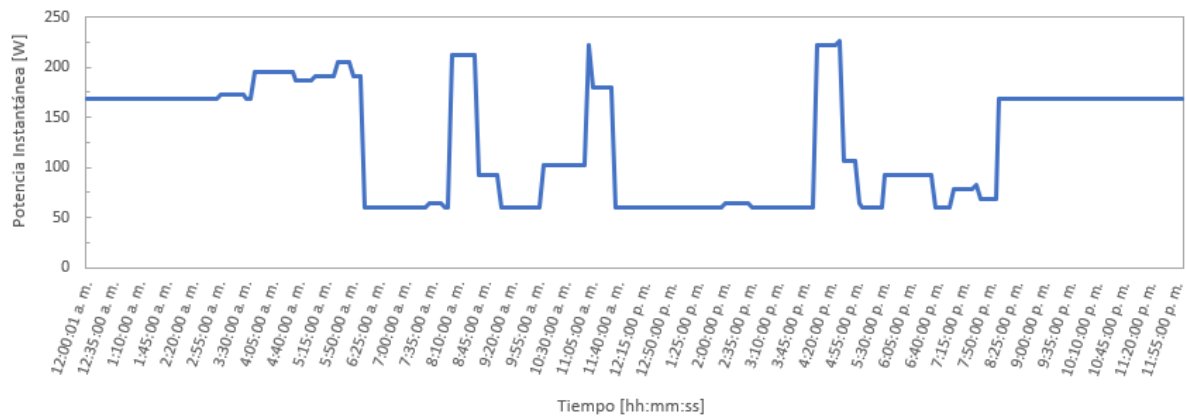


Ilustración 37-Perfil de carga diario del corral y la vivienda

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el perfil de carga proyectado se tendrá una demanda máxima de 226.5 W y un consumo eléctrico de 2.98 kWh al día, esta es la demanda eléctrica que se busca abastecer con la micro central hidráulica

5.2. MEDICIÓN Y PROYECCIONES DEL CAUDAL APROVECHABLE

5.2.1. MEDICIÓN DEL CAUDAL TOTAL EN LA QUEBRADA EL ZAPOTE

La quebrada El Zapote es la fuente de la que se toma el caudal necesario para abastecer el corral de la Finca los Tres Pinos, el caudal total de la quebrada se midió utilizando el método volumétrico, teniendo un total de 18.65 l/s o 0.01865 m³/s.



Ilustración 38-Quebrada El Zapote

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 39-Aforo de la quebrada El Zapote

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. MEDICIÓN DEL CAUDAL DISPONIBLE EN EL ACUEDUCTO

A través de tubería de PVC de dos pulgadas se canaliza desde la quebrada el Zapote el caudal necesario para el abastecimiento del corral de la finca Los Tres Pinos.

Al haber realizado 15 mediciones del caudal contenido en la tubería, por medio del método volumétrico se obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7-Medición de caudal contenido en el acueducto

Número de medición	Hora de la medición [hh:mm]	Tiempos de llenado del volumen conocido [s]
1	11:47 a. m.	6.07
2	12:00 p. m.	6.05
3	12:15 p. m.	5.77
4	12:30 p. m.	5.46
5	12:45 p. m.	5.28
6	1:00 p. m.	5.15
7	1:15 p. m.	4.39
8	1:30 p. m.	4.20
9	1:45 p. m.	4.15
10	2:00 p. m.	4.29
11	2:15 p. m.	4.16
12	2:30 p. m.	4.32
13	2:45 p. m.	4.63
14	3:00 p. m.	4.12
15	3:15 p. m.	4.68
Tiempo promedio de llenado [s]		4.85

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8-Caudal contenido en la tubería

Volumen conocido [l]	Tiempo promedio de llenado [s]	Caudal promedio en la tubería [l/s]
19	4.85	3.92

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con las mediciones de los tiempos de llenado y con base en las Ecuaciones 2 y 3 se midió un caudal promedio de 3.92 l/s fluyendo a través de las tuberías que abastecen el corral. El caudal encausado en las tuberías equivale a un 21% del caudal total disponible en la fuente principal de agua la quebrada El Zapote, debido a que la cantidad de agua disponible en la quebrada es cinco veces mayor que el caudal utilizado por la finca, el caudal de la tubería no se ve afectado por las reducciones de caudal en la quebrada en temporada de verano, se mantiene constante a lo largo del año.

5.3. MEDICIÓN DE SALTO DE AGUA DISPONIBLE

Para definir el salto de agua aprovechable se tomaron dos mediciones, la primera en la estación reductora de presión #2 ubicada en la vivienda de los jornaleros (referirse a Ilustración 25) y la segunda en la estación reductora de presión #3 (referirse a Ilustración 24) donde se instaló la microturbina, las mediciones se realizaron por medio de la función "Foto" de la aplicación Altimetro Preciso.

En las Ilustraciones 40 y 41 se muestran los datos de altura recabados.



Ilustración 40-Altura de la estación reductora de presión #2

Fuente: Elaboración propia en Altimetro Preciso



Ilustración 41-Altura de la estación reductora de presión #3

Fuente: Elaboración propia en Altimetro Preciso

Como se muestra en las imágenes la estación #2 se encuentra a 754 msnm y la estación #3 se encuentra ubicada a 713 msnm, sabiendo que la turbina se instalará en la estación #3 se tiene una diferencia de altura de 41 m, debido a la necesidad de realizar adaptaciones en el acueducto, que actualmente se encuentra bajo tierra, se debe elevar la tubería por lo que la altura aprovechable en el sitio es de 40 m.

5.4. CÁLCULO DE POTENCIA ELÉCTRICA REAL A GENERAR

La potencia que puede entregar la turbina según la Ecuación 5 involucra el rendimiento de la turbina con respecto al caudal (referirse a Ilustración 42), y el rendimiento del generador eléctrico, el caudal disponible, la altura, la gravedad y la densidad del agua.

Tomando en cuenta el caudal disponible de 3.92 l/s o 0.00392 m³/s, con un caudal de diseño de la turbina igual al caudal disponible, se tiene un rendimiento de la turbina de un 81%, un rendimiento del generador del 90%, y una altura de 40 metros la potencia a generar por el grupo turbina generador es de 1,121.3536 W, este valor excede a la demanda máxima que se busca abastecer.

$$P = 9.81 \frac{m}{s^2} * 0.00392 \frac{m^3}{s} * 40 m * 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.81 * 0.90 = 1,121.3536 W$$

Ecuación 8-Cálculo de la potencia eléctrica a generar utilizando 3.92 l/s

Fuente: Elaboración propia

Para evitar un sobredimensionamiento de la micro central y se decide dimensionar la micro central para la utilización de un caudal de 1.5 l/s o 0.0015 m³/s, teniendo un rendimiento de la turbina de un 81%, un rendimiento del generador de un 75%, debido a que se encuentra limitado a una fracción de su capacidad nominal, y con una altura de 40 m la potencia que se genera es de 357.5745 W, un valor acorde al pico de demanda de 226.5 W.

$$P = 9.81 \frac{m}{s^2} * 0.0015 \frac{m^3}{s} * 40 m * 1000 \frac{kg}{m^3} * 0.81 * 0.75 = 357.5745 W$$

Ecuación 9- Cálculo de la potencia eléctrica a generar utilizando 1.5 l/s

Fuente: Elaboración propia

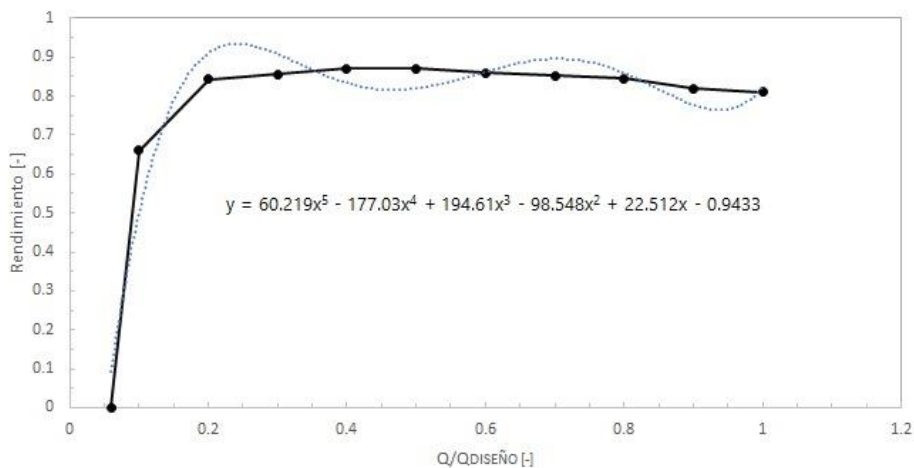


Ilustración 42-Gráfica de rendimiento de la turbina con respecto al caudal turbinado

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Ing. Alicia Reyes, Clase de Energía Hidráulica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras, 2021

5.5. ELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DEL GRUPO TURBINA/GENERADOR

5.5.1. SELECCIÓN DE LA TURBINA

La elección de la turbina (referirse Ilustración 43) se tomó con respecto salto aprovechable de 40 m y un caudal de diseño de 1.5 l/s o 0.0015 m³/s.

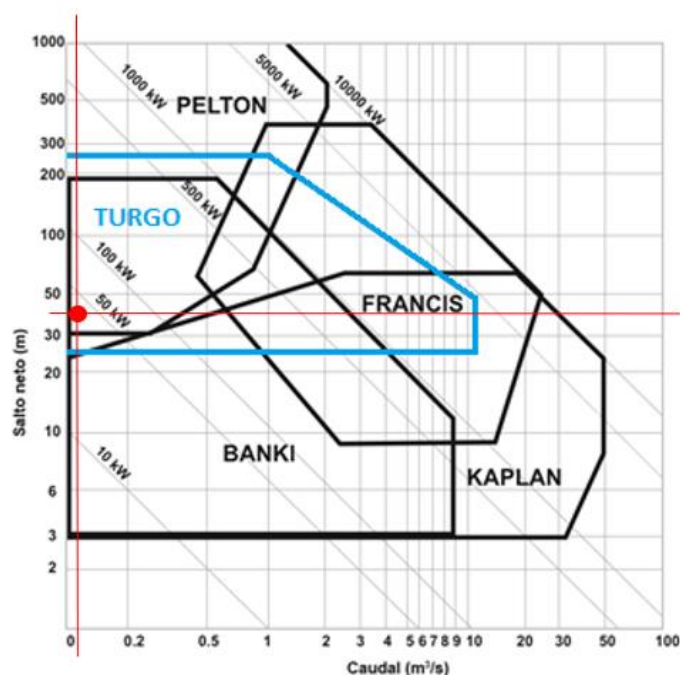


Ilustración 43-Selección del tipo de turbina hidráulica

Fuente: Elaboración propia con base en diagrama de Fernández Mosconi, Audisio, & Marchegiani (2003)

Según lo mostrado en la Ilustración 43 la turbina que mejor se adapta a las características de altura y caudal de la finca Los Tres Pinos es la del tipo Turgo.

5.5.2. SELECCIÓN DEL GENERADOR

El generador utilizado en la micro central fue reconstruido y rebobinado por Turbinas de Honduras a partir de un motor eléctrico de imanes permanentes que formó parte de un compresor de refrigeración modelo DA150S1C-20FZ. Según Turbinas de Honduras (2020) el generador utilizado para la construcción de la microcentral entrega un voltaje de 120 V AC, a una frecuencia de 60 Hz, presentando un rendimiento del 90% a plena capacidad.

Según las necesidades de consumo proyectadas y teniendo en cuenta un crecimiento en la demanda eléctrica del 11% anual, además de la posibilidad de utilizar el caudal total disponible de 3.2 l/s se ha seleccionado un generador síncrono de imanes permanentes de 1.2 kW de potencia.



Ilustración 44-Microturbina a instalar

Fuente: (Turbinas de Honduras, 2021)



Ilustración 45-Rodete tipo Turgo de la microturbina

Fuente: (Turbinas de Honduras, 2021)



Ilustración 46-Sistema de admisión de la microturbina

Fuente: (Turbinas de Honduras, 2021)

5.6. PROYECCIONES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

5.6.1. CÁLCULO DEL FACTOR DE DISPONIBILIDAD

El cálculo de factor de disponibilidad se desarrolló tomando en cuenta un programa de mantenimiento anual de carácter preventivo y correctivo, con actividades específicas para el grupo electromecánico y el acueducto ganadero. El programa de mantenimiento está destinado a establecer el tiempo en el cual no existirá generación eléctrica.

Tabla 9-Plan de mantenimiento anual

Plan de mantenimiento anual	Días al año
Turbina	
Examinar rodetes y carcasa	1
Inspeccionar cojinetes de la turbina y eje	4
Generador	
Inspección y limpieza de bobinado interior	1
Medición del aislamiento	1
Lubricación de cojinetes.	1
Acueducto	
Reparación de puntos de anclaje del acueducto	1
Obstrucción en tubería	10
Total de días al año	19

Fuente: Elaboración propia con base en datos de (Briceño, Escobar, & Ramírez, 2008).

La obstrucción de tubería es una de las situaciones que se presentan con una frecuencia media, esto debido a las temporadas en las que se encuentran lluvias intensas las cuales provocan deslizamientos de terreno que pueden llegar a introducir sedimento en la tubería que limitan el flujo del agua. La limpieza del acueducto es una tarea realizable en un promedio de tres horas, ya que existen puntos de acceso a la tubería como ser las estaciones liberadoras de presión.

Tomando en cuenta el tiempo en el cual no existe producción de energía eléctrica (referirse Tabla 9) se estima un factor de disponibilidad para la micro central de 94.79% como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10-Cálculo factor de disponibilidad

Horas en un año	Horas de generación en un año	Factor de disponibilidad
8,760	8,304	94.79%

Fuente: Elaboración propia.

5.6.2. ESTIMACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para la estimación de la energía eléctrica a generar se tomó en cuenta el caudal de diseño especificado con anterioridad, la potencia eléctrica del grupo turbina-generador y el factor de planta de la micro central.

Tabla 11-Cálculo de generación de energía eléctrica

Caudal Diseño Turbina [m ³ /s]	Salto Neto [m]	Gravedad [m/s ²]
0.00150	40	9.81

Caudal Promedio Mensual [m ³ /s]		Turbina-Generador			Generación			
		Q/Qdiseño	Rendimiento [%]	Potencial Real [W]	Días	Tiempo [h]	F.D	Energía Generada [kWh-mes]
Enero	0.0015	1.000	60.75	357.5745	31	744	0.9479	252.1870
Febrero	0.0015	1.000	60.75	357.5745	28	672	0.9479	227.7818
Marzo	0.0015	1.000	60.75	357.5745	31	744	0.9479	252.1870
Abril	0.0015	1.000	60.75	357.5745	30	720	0.9479	244.0519
Mayo	0.0015	1.000	60.75	357.5745	31	744	0.9479	252.1871
Junio	0.0015	1.000	60.75	357.5745	30	720	0.9479	244.0519
Julio	0.0015	1.000	60.75	357.5745	31	744	0.9479	252.1871
Agosto	0.0015	1.000	60.75	357.5745	31	744	0.9479	252.1870
Septiembre	0.0015	1.000	60.75	357.5745	30	720	0.9479	244.0519
Octubre	0.0015	1.000	60.75	357.5745	31	744	0.9479	252.1870
Noviembre	0.0015	1.000	60.75	357.5745	30	720	0.9479	244.0519
Diciembre	0.0015	1.000	60.75	357.5745	31	744	0.9479	252.1870
Total de energía generada anual [kWh-año]								2,969.2986

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la Tabla 11 se estima una generación de energía eléctrica anual de 2,969.2986 kWh al año.

5.6.3. CONSUMO ELÉCTRICO PROMEDIO EN UNA VIVIENDA DEL ÁREA RURAL

De acuerdo con diversas entrevistas y visitas a las viviendas de la aldea La Laguna se establece que en una vivienda promedio ocupada por cuatro integrantes se poseen las cargas mostradas en la Tabla 12. Con base en la tabla de "Potencia y factor de utilización por sector de consumo y por aparato" elaborada por la Comisión Reguladora de Energía Eléctrica CREE (2020) se establece que el consumo eléctrico mensual de dichas cargas es el siguiente.

Tabla 12 Listado de cargas vivienda promedio en la aldea La Laguna

Descripción	Cantidad	Potencia unitaria [W]	Consumo eléctrico [kWh-mes]
Refrigeradora mediana	1	180	52.56
Lámpara fluorescente	3	20	7.29
Televisor pequeño	1	60	7.45
Equipo de sonido	1	20	3.65
Consumo eléctrico anual [kWh-año]			851.4

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con las proyecciones de energía eléctrica generada mostradas en la Tabla 11 y el consumo eléctrico promedio de una vivienda rural mostrado en la Tabla 12 se estima que con la energía eléctrica generada por la micro central hidroeléctrica se pueden abastecer hasta 3 viviendas.

5.6.4. CÁLCULO DEL LCOE

Para el cálculo del LCOE según la Ecuación 1 se necesita definir un costo de operación y mantenimiento. En este estudio el costo de operación y mantenimiento se calculó con base en los días presentados en el plan de mantenimiento, con un costo de \$ 5.79 el día de trabajo en esta zona del Honduras y un costo de repuestos y reparaciones de \$ 33.09 anuales. La vida útil del proyecto que se estableció en 15 años según información de Turbinas de Honduras (2021).

Teniendo una inversión inicial de \$ 1,302.73 y proyección de energía generada con base en la Tabla 11.

Con base en los datos anteriores el LCOE calculado de la micro central es de 0.07769 \$/kWh.

5.7. CONTROL DE LA GENERACIÓN ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA MICRO CENTRAL

El objetivo de esta micro central es mantener la energía generada en un nivel máximo y contante todo el tiempo en que esté operando ya que se posee un caudal constante. Como se mostró en el perfil de carga (referirse a Ilustración 37), las cargas no se mantienen constantes durante un día de uso normal, para controlar los excedentes de energía eléctrica la micro centra cuenta con un sistema de control que dirige la energía eléctrica generada a dos tipos de cargas:

- La carga del usuario.
- La carga lastre.

La carga lastre está compuesta por un grupo de resistores que disipan la energía eléctrica que no está siendo consumida por el usuario. En la Ilustración 47 se muestra el comportamiento de la energía eléctrica generada por una micro central.

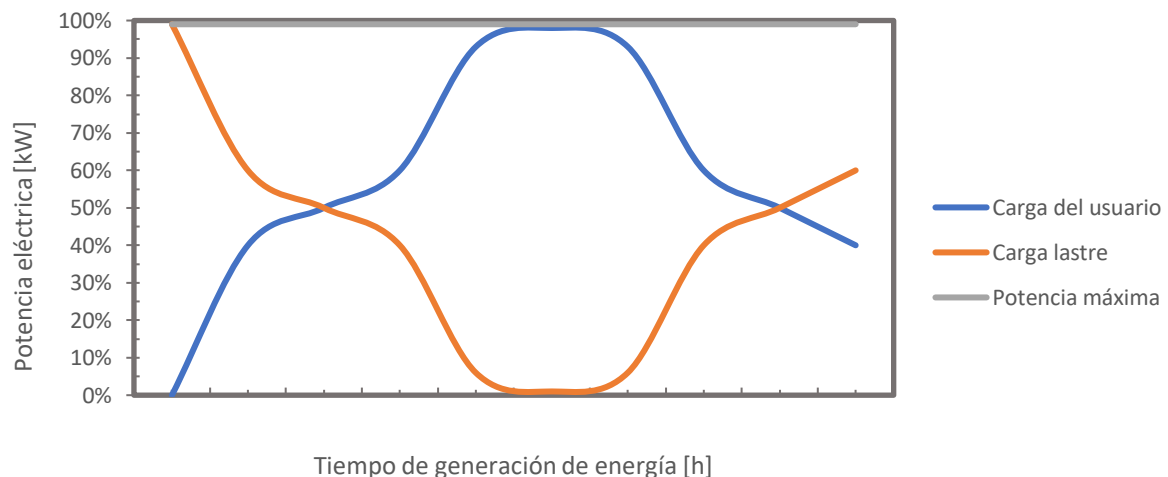


Ilustración 47-Control de la energía generada en una micro central hidroeléctrica

Fuente: Elaboración propia a partir de Mbabazi & Leary (2010)

El control de la micro central posee un circuito electrónico que mantiene el voltaje de salida entre los 118 V y los 122 V (referirse a Ilustración 48), una vez alcanzado el voltaje

determinado permite el paso corriente hacia la carga lastre si no existe una demanda por parte del usuario. En este proyecto la carga lastre consta de una carga resistiva de 1,000 W, comumente conocida como quemador de estufa eléctrica (referirse a Ilustración 49).

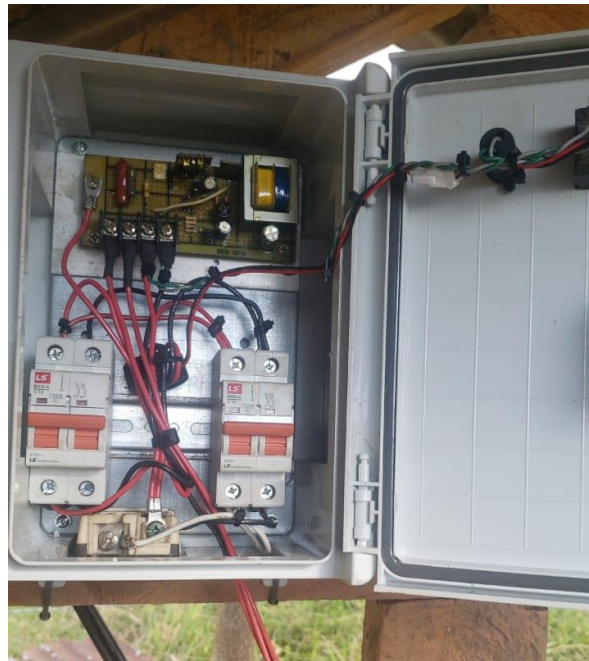


Ilustración 48: Circuito de control de generación de energía eléctrica de la micro central

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 49: Carga lastre de la micro central

Fuente: Elaboración propia.

5.8. INSTALACIÓN DE LA MICRO TURBINA HIDROELÉCTRICA

El proceso de instalación de la turbina conlleva realizar excavación de la tubería una distancia de alrededor de tres metros para poder realizar la conexión con la micro turbina (referirse a Ilustración 51), se recomienda a su vez cercar el área de instalación de la microcentral debido a la exposición al ganado que posee al estar ubicada en el medio de los terrenos de pastoreo de ganado y proteger de la lluvia la micro central. Para asegurar la turbina en la estación liberadora de presión se fundió la base de la turbina junto con la tapadera de la estación reductora de presión (referirse a Ilustración 52). El proceso de instalación no es complejo y se realizó en un tiempo de tres días, incluyendo las obras civiles, mismas que fueron mínimas.



Ilustración 50: Estación reductora de presión #3

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 51: Excavación de la tubería en la estación reductora de presión, techado y cercado de la zona de instalación

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 52: Instalación de la microturbina en la estación reductora de presión

Fuente: Elaboración propia.

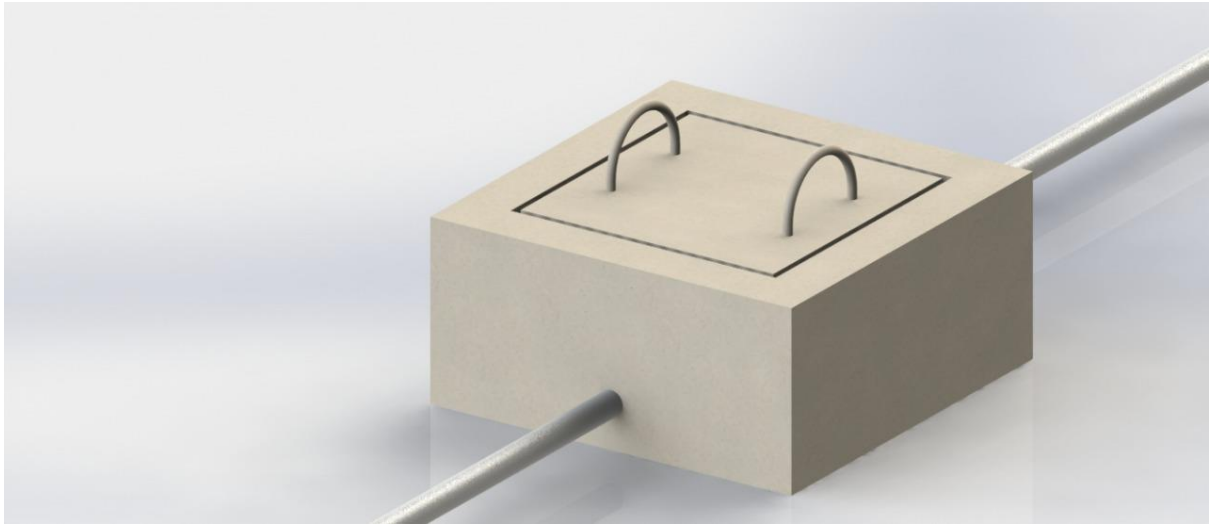


Ilustración 53: Modelo 3D de la estación reductora de presión #3

Fuente: Elaboración propia

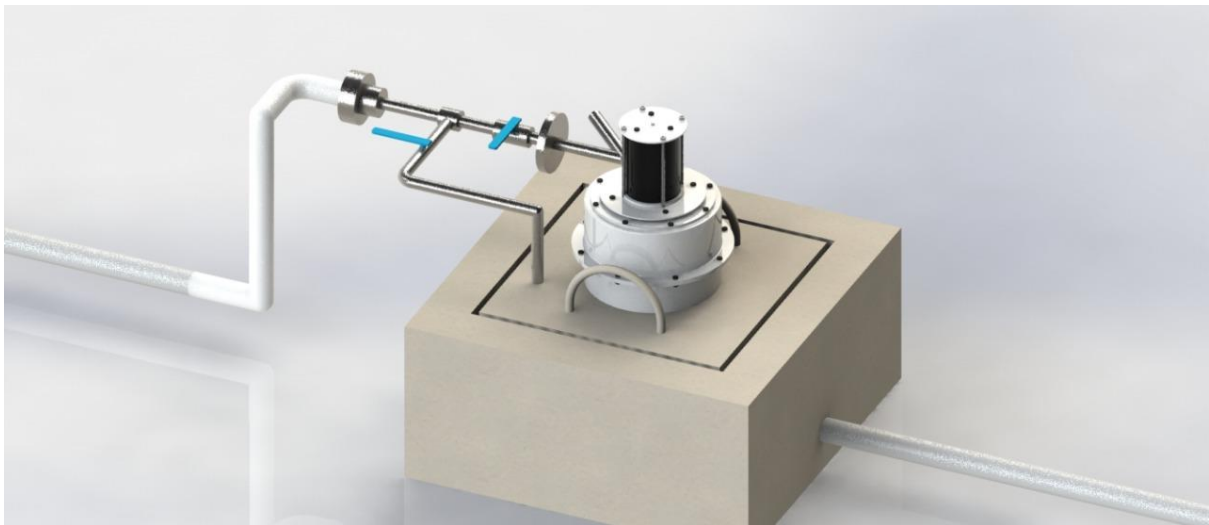


Ilustración 54: Modelo 3D de la micro central instalada

Fuente: Elaboración propia

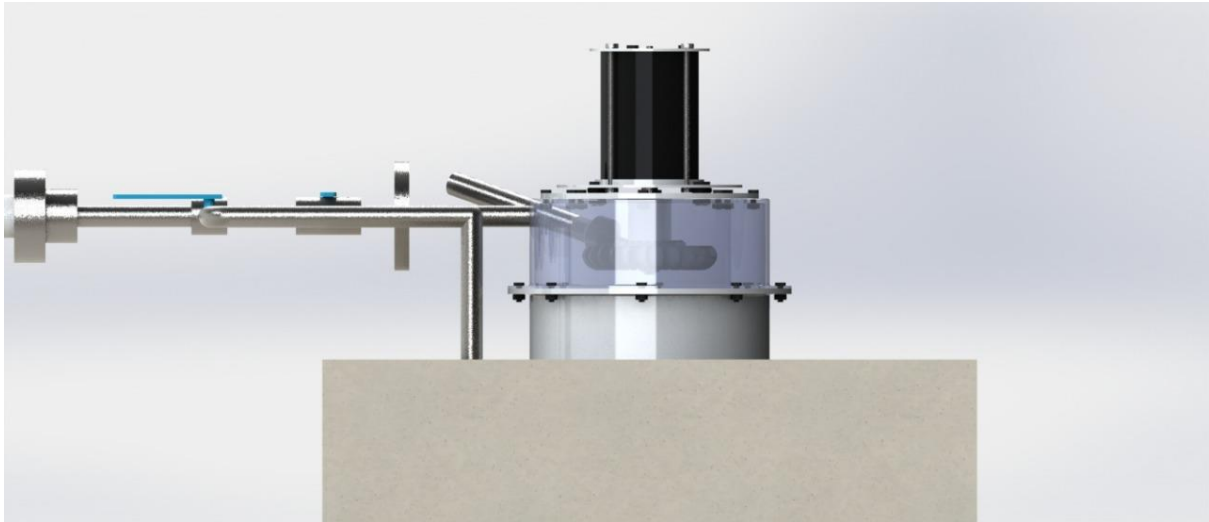


Ilustración 55: Vista lateral de la micro central instalada

Fuente: Elaboración propia en conjunto con Alessandro Granados



Ilustración 56: Vista explosionada de la microturbina y el generador

Fuente: Elaboración propia en conjunto con Alessandro Granados

5.9. ENERGÍA ELÉCTRICA REAL GENERADA

La micro central hidroeléctrica ubicada en la finca Los Tres Pinos entrega energía eléctrica a una tensión de 120 V alternos, trifásicos, a una frecuencia de 60 Hz (referirse a ilustración 56). Esta tensión se mantiene estable gracias al sistema de regulación de la energía generada

instalado en la caja de control de la microturbina. El generador es capaz de entregar una corriente alterna máxima de 2.4 A manteniendo una tensión estable (referirse a Ilustración 57).



Ilustración 57: Medición del voltaje del generador

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 58: Medición de la corriente máxima entregada por el generador eléctrico

Fuente: Elaboración propia

La micro central cuenta con un pequeño medidor de corriente y voltaje digital en la parte frontal de la caja de control donde se muestra el voltaje al que se está generando y el doble de la corriente suministrada a la carga y un indicador LED rojo que se enciende cuando ya se está suministrando corriente a la carga lastre, es decir, cuando se alcance el voltaje deseado (referirse a Ilustración 58).



Ilustración 59: Parte frontal de la caja de control de la micro central

Fuente: Elaboración propia

Con base en los datos medidos podemos afirmar que la micro central entrega una potencia instantánea de 288 W, tomando en cuenta un factor de disponibilidad de la micro central de 94.79%, calculado en el inciso 5.6.1, se generan 2,391.44 kWh al año.

5.10. FACTOR DE PLANTA

El factor de planta de la micro central se calcula por medio de la Ecuación 4, teniendo el resultado siguiente.

$$FP = \frac{288 * 8,304}{1,200 * 8,760} = 0.2275$$

Esta micro central cuenta con un factor de planta del 22.75%, este factor de planta es bajo ya que en este momento la micro central no genera con todo el caudal de agua disponible, ya

que no es necesario, pero se prevé un crecimiento gradual en la demanda eléctrica de la finca que se podrá abastecer con el generador instalado.

5.11. DIMENSIONAMIENTO DE LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para la utilización de esta energía eléctrica en el corral de ordeño y en la vivienda se requiere construir una línea de transmisión, la distancia necesaria de línea eléctrica desde el punto de ubicación de la micro central hasta la vivienda de los jornaleros es de 190 m, y la distancia a cubrir desde la micro central hasta el corral de ordeño es de 353 m.

Según el ENEE (2011) en el manual de procedimientos para extensiones de líneas de distribución contruidas en forma privada la distancia interpostal no debe exceder los 60 m en zonas rurales, se deben utilizar postes de madera de 30 pies, enterrados a una profundidad de 5 pies con una vida útil de la menos 20 años, el conductor recomendado por la ENEE es el N1/0 forrado y el conductor neutro no debe ser inferior al N° 2 ACSR desnudo.

De acuerdo a lo indicado en el manual la cantidad total necesaria de postes para la construcción de esta línea de transmisión es de nueve postes. Debido a que el voltaje de transmisión es de 120 V se recomienda utilizar conductor de aluminio de calibre 6 AWG desnudo para el neutro y conductor de aluminio de calibre 6 AWG forrados para las líneas vivas.

VI. CONCLUSIONES

Se evaluó la factibilidad técnica de una micro central hidroeléctrica del tipo Turgo implementada en el sistema de acueductos para uso ganadero de la finca Los Tres Pinos en la Aldea La Laguna en el municipio de El Paraíso, Copán. A partir del caudal de agua disponible en el acueducto de la finca, la altura aprovechable y la demanda eléctrica que se desea suplir en el corral de ordeño de la finca y una vivienda de jornaleros se estableció la capacidad nominal de la turbina necesaria para suplir toda la demanda eléctrica en los sitios antes mencionados. El análisis tecno-financiero nos proporcionó las siguientes conclusiones:

- El caudal de agua disponible en el acueducto se considera constante durante todo el año, siendo este de 3.92 l/s o su equivalente $0.00392 \text{ m}^3/\text{s}$. A lo largo de trayecto del acueducto se encuentran diferencias de alturas considerables entre 30 a 80 m de altura. Esto debido a que esta zona es altamente montañosa.
- El cálculo de la demanda eléctrica y la construcción del perfil de carga se desarrolló con base en el listado de cargas eléctricas que se encuentran en los puntos de entrega de la energía eléctrica y con entrevistas a los jornaleros de la finca para establecer los tiempos de uso de los aparatos eléctricos, teniendo una demanda de potencia eléctrica máxima 226.5 W a lo largo de un día.
- La turbina implementada en el acueducto se definió tomando en cuenta la potencia máxima demandada por las instalaciones, el caudal disponible en el acueducto y la diferencia de altura neta en el punto de instalación. La turbina más apropiada es una del tipo Turgo, acoplada a un generador de imanes permanentes de 1.2 kW.
- La turbina fue construida por la empresa Turbinas de Honduras con las características especificadas.
- La energía eléctrica generada por la micro central se proyecta en 6.64 kWh diarios, 199.28 kWh al mes y 2,391.44 kWh al año.
- La demanda eléctrica del corral y de la vivienda de la Finca los Tres Pinos está cubierta en un 100% con la micro central instalada.
- EL proyecto es viable técnicamente ya que se logra abastecer toda la demanda eléctrica de la finca.

Una de las limitaciones que se presentaron a lo largo de la investigación fue la falta de datos de caudal en la Quebrada el Zapote además de la falta de datos de pluviometría de la

zona estudiada, que hubiesen sido útiles para relacionarlos con las variaciones de caudal en la fuente de agua utilizada a falta de datos de caudal. Otra de las limitaciones que se presentaron durante el proyecto fue el clima lluvioso de la zona de instalación, lo que dificultó y atrasó la instalación de la micro central experimental un tiempo de 10 días, retrasando el avance del proyecto.

A pesar de las limitaciones, el trabajo desarrollado brinda una base de implementación con las fórmulas, cálculos, una explicación de los métodos y herramientas utilizadas para el correcto dimensionamiento, así como para las fases de instalación y construcción de proyectos enfocados en la micro generación de energía eléctrica por medio de microturbinas instaladas en acueductos agrícolas que se puedan llegar a desarrollar en zonas dedicadas a la agricultura. Este proyecto también da a conocer a proveedores hondureños de equipos de calidad para la generación de energía eléctrica de fuentes hídricas.

VII. RECOMENDACIONES

- En acueductos donde ya se encuentra canalizado todo el caudal de agua es recomendable utilizar el método volumétrico para medir el caudal en la tubería. Para realizar la medición de altura se recomienda utilizar un altímetro para obtener una mayor precisión en la medida.
- Para estimar la demanda eléctrica se recomienda utilizar perfiles de carga reales de las ubicaciones que se busca abastecer la demanda de energía eléctrica, estos se pueden construir analizando el tiempo uso que se le da a cada aparato eléctrico en un espacio de tiempo determinado o para obtener perfiles de cargas precisos, instalando un analizador de redes el tablero de control de la vivienda o espacio que se está analizando.
- Para la selección de la turbina se recomienda utilizar el diagrama de selección brindado, que toma en cuenta características tales como el caudal disponible y la altura neta aprovechable en la zona de implementación de la central hidroeléctrica.
- Se recomienda realizar mediciones periódicas del caudal de agua contenido en la tubería con el objetivo de llevar un registro de las variaciones y fallas del sistema de acueductos.
- Se recomienda instalar un pluviómetro en la vivienda de los jornaleros y tomar un registro de datos con el objetivo de predecir variaciones en el caudal de la quebrada El Zapote y demás cuencas hidrográficas de la zona con base en las proyecciones de lluvia, para prepararse ante las crecidas que podrían afectar el sistema de tuberías de la finca.
- Se recomienda instalar válvulas de aire en los tramos de acueducto ubicados en los puntos altos del trayecto o en los cambios de pendiente del terreno, para evitar rebalses de agua en las estaciones reductoras de presión. (ver Anexo 2)

VIII. IMPLEMENTACIÓN

Este proyecto presenta una alternativa factible para cubrir la necesidad de energía eléctrica de la agroindustria, principalmente las instalaciones de las zonas rurales y montañosas con caudales y alturas aprovechables para la generación de energía hidroeléctrica. Este estudio también brinda una solución para organizaciones gubernamentales o no gubernamentales enfocadas en el mejoramiento de la calidad de vida de las personas en comunidades rurales.

IX. TRABAJO FUTURO

Este proyecto se desarrolló en la aldea La Laguna ubicada en El Paraíso Copán, donde se estableció la capacidad del lugar para abastecer de energía eléctrica renovable a una finca del lugar. Una segunda etapa de este proyecto sería desarrollar otros proyectos de micro generación en diferentes zonas ya sea a nivel nacional o internacional, donde se puede comparar el LCOE de los diferentes proyectos, y mostrar la viabilidad de micro centrales hidroeléctricas en otros lugares.

BIBLIOGRAFÍA

- Mbabazi, S., & Leary, J. (2010). *Analysis and Design of Electronic Load Controller for Micro-hydro Systems in the Developing World*. Sheffield.
- AR Labs. (2017). *Accurate Altimeter*. Obtenido de <https://www.arlabs-mobile.com/apps/altimeter.html>
- Banco Central de Honduras. (2020). *Oferta y Demanda Agregada*. Tegucigalpa.
- Briceño, E., Escobar, R., & Ramírez, S. (2008). *Manual de capacitación en operación y mantenimiento de pequeñas centrales*. Lima.
- Comisión Nacional de Viviendas y Asentamientos Humanos CONVIVIENDA. (2016). *Informe República de Honduras. HABITAT III*. Tegucigalpa.
- Comisión Reguladora de Energía Eléctrica CREE. (13 de 202 de 2020). ACUERDO CREE-028. *La Gaceta*, págs. 1-32.
- Criollo Cabrera, X. L., & Quezada Damian, C. L. (2011). *Diseño de una mini central de energía hidroeléctrica en la planta de tratamiento de agua residuales de la ciudad de Cuenca*. Cuenca.
- Daniel Arnett. (Octubre de 2021). *Elevation Map*. Obtenido de <https://elevationmap.net/laguna-el-paraiso-hn-1000564075>
- Derlagen, C., De Salvo, C., Egas Yerovi, J., & Pierre, G. (2019). *Análisis de políticas agropecuarias en Honduras*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Dirección General de Electricidad y Mercados. (2019). *INFORME ESTADÍSTICO ANUAL DEL SUBSECTOR ELÉCTRICO*. Tegucigalpa.
- Elbatran, A., Yaakob, O., Ahmed, Y., & Shabara, H. (2015). *Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remotes areas*.
- ENEE. (2011). *Manual de procedimientos para extensiones de líneas de distribución contruidas en forma privada*. Tegucigalpa.
- ENEE. (2019). *COBERTURA DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN HONDURAS*.
- ENEE. (2019). *COBERTURA DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN HONDURAS*.

- Fernández Mosconi, J., Audisio, O., & Marchegiani, A. (2003). *Pequeñas Centrales Hidráulicas*. Neuquén, Argentina: Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ingeniería.
- Ferrada, L. (2012). *Diseño de rodete de turbina hidráulica tipo pelton*.
- Franco Tosi. (s.f.). Obtenido de Franco Tosi: <https://www.francotosimeccanica.it>
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). (2009). *Guía Metodológica para el Establecimiento*. La Lima, Cortés.
- García Colindres, K. I., & Villanueva Pacheco, R. A. (2021). *Prefactibilidad de una sistema de bombeo y generación eléctrica usando energía solar fotovoltaica y almacenamiento de energía por bombeo en terrenos escarpados*. San Pedro Sula.
- Gonzales Niño, P. A., & Delgado Olarte, L. F. (2021). *ANÁLISIS DE UNA MICROTURBINA EN UNA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR DEL PARQUE TIMIZA*. Bogotá.
- Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre ICF. (Abril de 2015). *ATLAS MUNICIPAL FORESTAL Y COBERTURA DE LA TIERRA DE HONDURAS*. Obtenido de El Paraíso: <https://inparsa.net/atlas/?q=node/57>
- La Industria Cárnica Latinoamericana. (2018). *Ganadería y Manejo sustentable del agua*. La Industria Cárnica Latinoamericana.
- Microsoft. (6 de Junio de 2020). *Microsoft Excel*. Obtenido de <https://es.google-info.org/48729/1/microsoft-excel.html>
- Morales, S., Corredor, L., Paba, J., & Pacheco, L. (2014). *Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas: Contexto y criterios básicos de implementación*. Medellín.
- Muguerza, D. (1999). Micro Centrales Hidroeléctricas. En D. Muguerza, *Micro Centrales Hidroeléctricas* (pág. 4).
- Muñoz, J., & Santos, R. (2014). *Guía de turbinas hidráulicas*.
- Nuñez, G. (2021). *Optimización del perfil hidráulico*.
- Palomeque, V., Ismael, V., Nelson, J., & Reinoso, F. (2020). *Diseño de una mini central hidroeléctrica*. Cuenca.

- PCE Instruments. (s.f.). *Manómetro*. Santiago de Chile.
- Secretaría de Energía. (2020). *Balance Energético Nacional 2019*. Tegucigalpa.
- Secretaría de Estado en el Despacho de Energía. (2019). *ÍNDICE DE COBERTURA Y ACCESO A LA ELECTRICIDAD EN HONDURAS*. Tegucigalpa.
- Turbinas de Honduras. (2021). *Turbina Turgo*. Santa Rosa de Copán.
- Universidad de Cantabria. (1996). *Turbinas Hidráulicas*. Cantabria.
- USAID. (2010). *Guía plan de mejoramiento acueducto ganadero*. Brasilia.
- Vargas Benambourg, D. (2019). *Estudio de prefactibilidad para el Aprovechamiento Energético mediante Sistemas de Micro Generación Hidroeléctrica en líneas de agua potable para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados*. San Isidro del General.
- Wasserkraft Volk AG. (s.f.). *Turbina Turgo*. Obtenido de <https://www.wkv-ag.com/es/productos/turbinas-e-equipamiento-completo/turbina-turgo.html>
- Winston Quevedo, L. O. (2019). Disponibilidad y consumo de agua para la ganadería bovina. *SCIELO*.
- Ysaguirre Jerezano, A. A., & Ramos Zelaya, B. R. (2021). *ESTUDIO TECNO-ECONÓMICO DE LA INSTALACIÓN DE MICROTURBINAS EN EL SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL NEGRITO, YORO*. San Pedro Sula.

ANEXOS

Anexo 1: Plantilla para elaboración del perfil de cargas eléctricas

Aparato	Aparato 1	Aparato 2	Aparato 3	Aparato 4	Aparato 5	Aparato 6	Aparato 7		
Potencia									
FP									
Hora								Potencia instantánea	Energía consumida
12:00:01 a. m.								0	
12:05:00 a. m.								0	0.00
12:10:00 a. m.								0	0.00
12:15:00 a. m.								0	0.00
12:20:00 a. m.								0	0.00
12:25:00 a. m.								0	0.00
12:30:00 a. m.								0	0.00
12:35:00 a. m.								0	0.00
12:40:00 a. m.								0	0.00
12:45:00 a. m.								0	0.00
12:50:00 a. m.								0	0.00
12:55:00 a. m.								0	0.00
1:00:00 a. m.								0	0.00

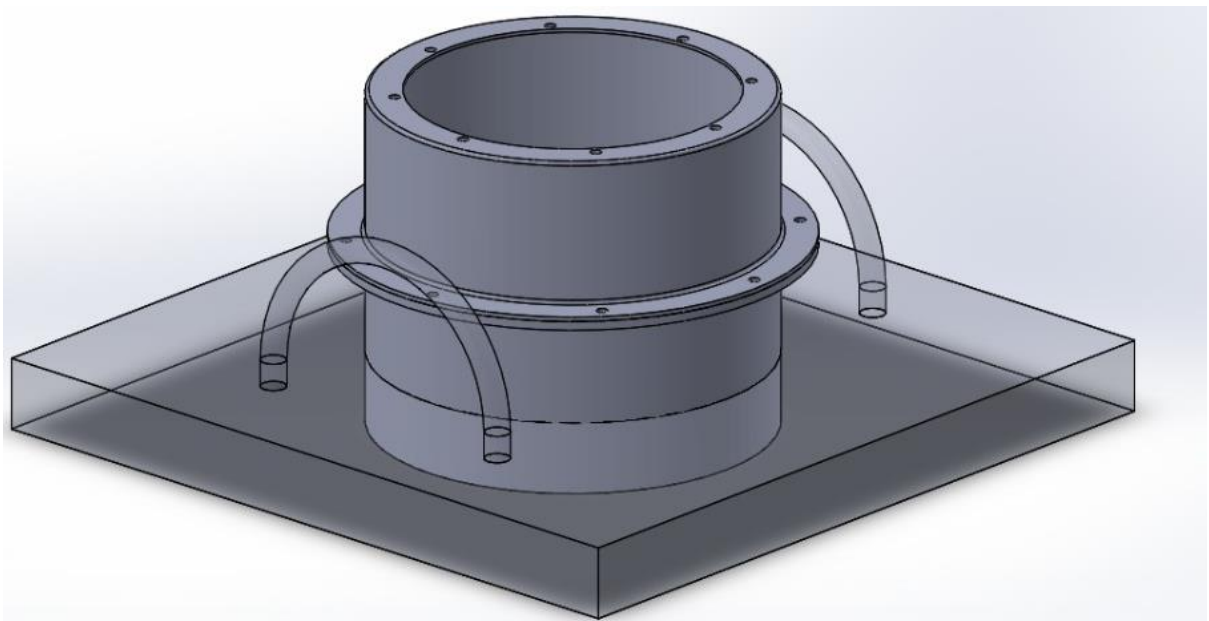
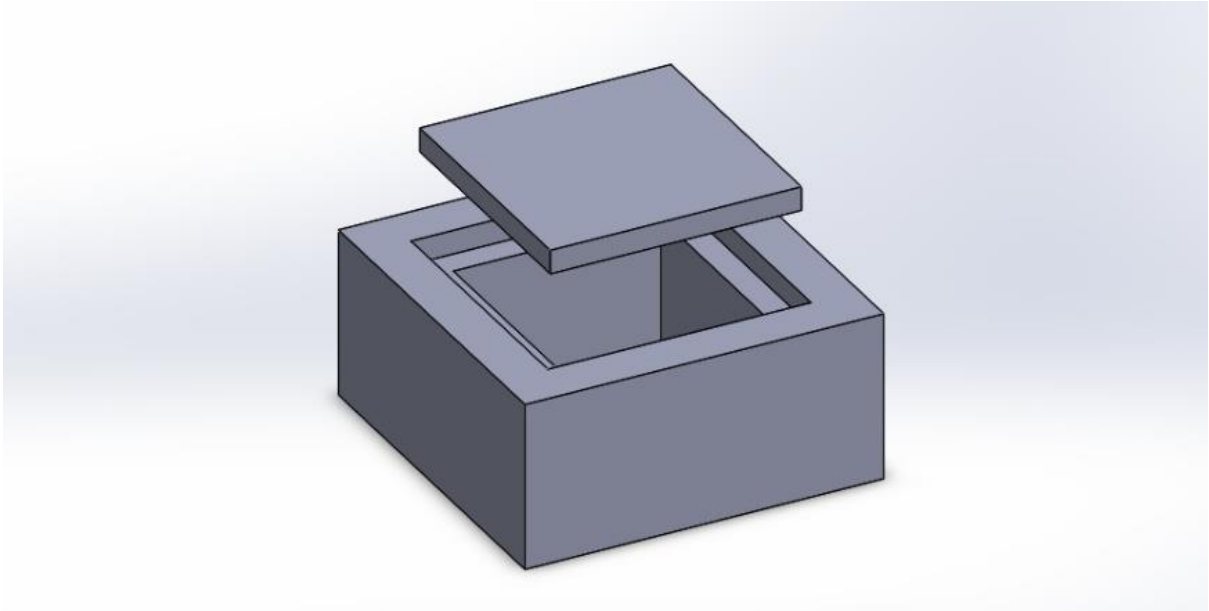
Fuente: Elaboración propia con datos de (Phd. Héctor Villatoro, Clase de Energía Termosolar y Fotovoltaica, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras).

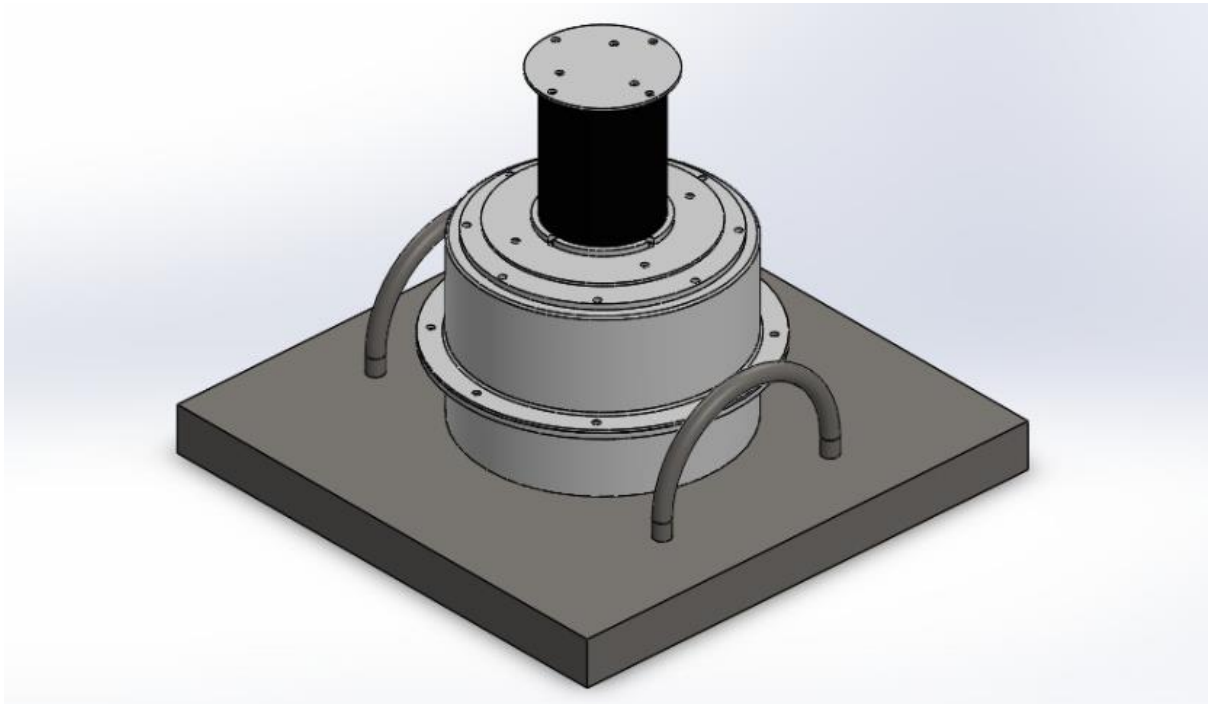
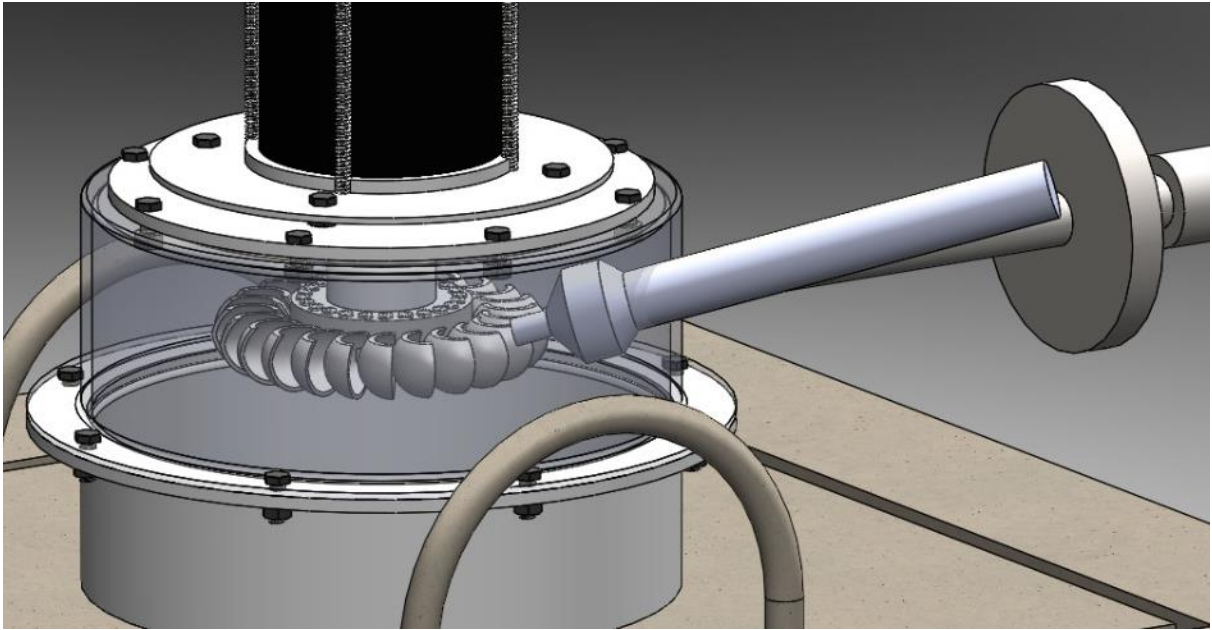
Anexo 2: Válvula de liberación de aire en tuberías agrícolas

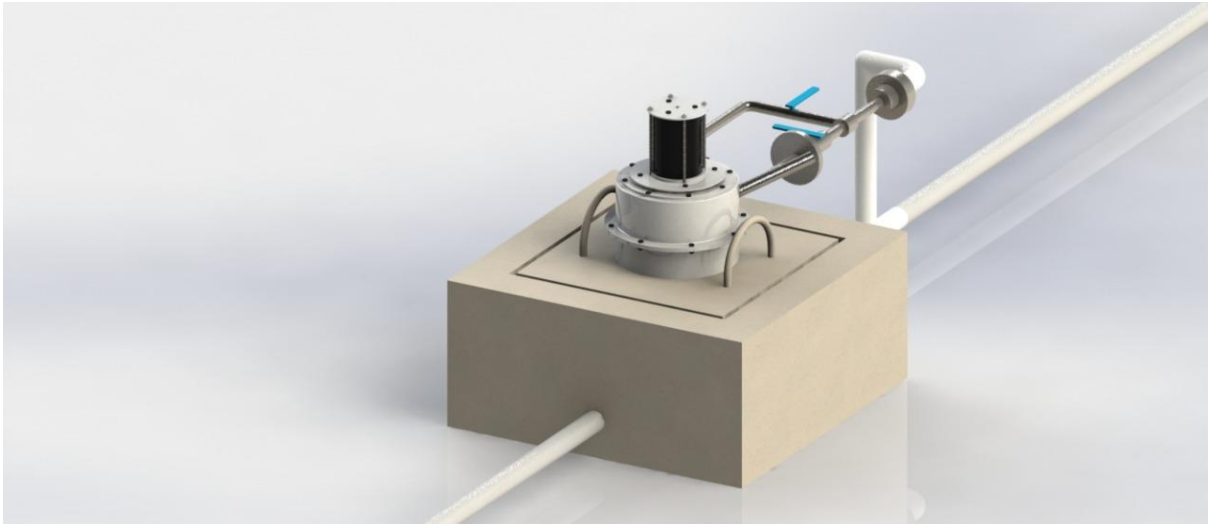
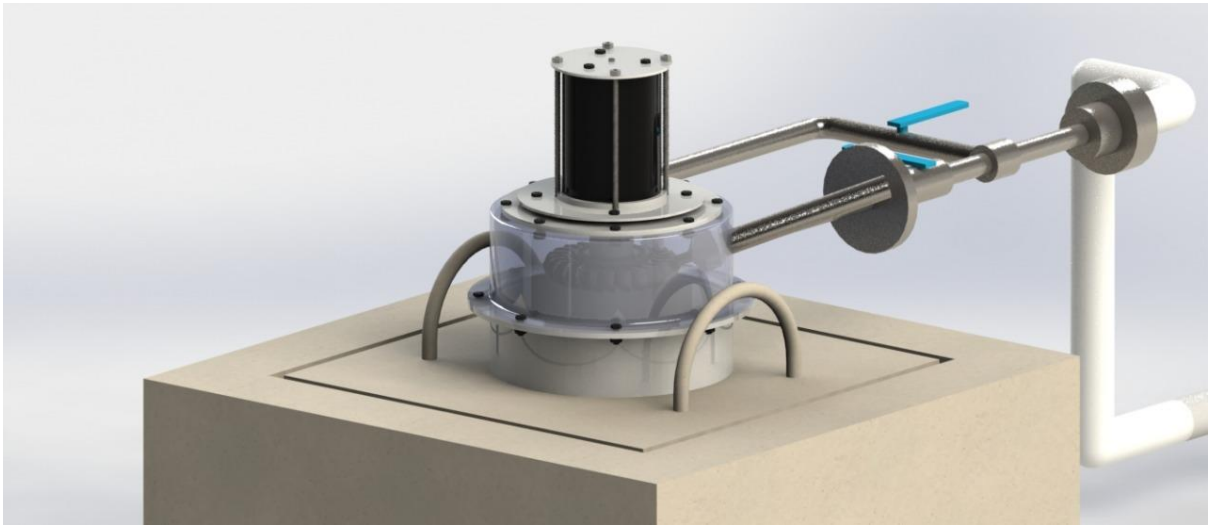


Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Modelado 3D de la micro central









Fuente: elaboración propia en conjunto con Alessandro Granados