



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PEQUEÑA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA, EN LA COLONIA SUYAPA, MUNICIPIO DE SANTA BÁRBARA,
DEPARTAMENTO DE SANTA BÁRBARA, HONDURAS.**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

21721047 GÉNESIS ALEJANDRA RIVERA RODRÍGUEZ

ASESOR: PHD. HÉCTOR VILLATORO

CAMPUS SAN PEDRO SULA; SEPTIEMBRE, 2021.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Alex y Alejandra, por ser mis amigos, por estar siempre conmigo, guiarme y amarme. A mi hermana Gema, porque siempre será mi acompañante y mejor amiga. A mis tíos, por su cariño y caridad infinita; sin ustedes culminar esta meta no hubiese sido posible.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, por sus esfuerzos y apoyo incondicional, porque me aman y los amo.

A mis amigos: Ana, Rocio, Andres, Rodolfo y Marcos, porque estuvieron conmigo haciendo todo este proceso más ameno y divertido.

A todos mis catedráticos, por tener vocación en lo que hacen y la dedicación hacia sus alumnos.

Al Ing. Héctor Villatoro, por brindarme de sus conocimientos y tiempo.

A la Ing. Claudia Paz, por hacer un espacio de su tiempo, para guiarme en el desarrollo de esta investigación, y brindarme de sus conocimientos e ideas.

Agradezco a la Ing. Vielka Barahona, porque desde su llegada, fue como un apoyo incondicional más en condiciones de colega y amiga, que de una coordinadora.

RESUMEN

Hoy en día la electricidad es un área de vital importancia para la economía de un país. En los países en vías de desarrollo, como Honduras, el papel de la energía eléctrica es fundamental. En los meses de enero a junio del año 2021, el Operador del Sistema (ODS) reportó 5,094,494 kWh no entregados como consecuencia de las fallas eléctricas en los sistemas de distribución hondureño. El litoral Nor-occidente, zona en la que se ubica el área de estudio de esta investigación, representa el 44.44% de los kWh no distribuidos por fallas eléctricas en el sistema interconectado nacional (SIN). Estadísticas señalan que actualmente Honduras es el segundo país centroamericano que brindan el servicio más caro por energía eléctrica, con un promedio que va desde 0.18 a 0.22 \$/kWh para el sector residencial. Esta investigación tiene como finalidad evaluar la factibilidad técnica y económica de una pequeña central hidroeléctrica para el abastecimiento eléctrico continuo de la colonia Suyapa, en el departamento de Santa Bárbara, desconectada del Sistema Interconectado Nacional (SIN), con una tarifa menor a la establecida para el sector residencial hondureño. La metodología de estudio está estructurada por métodos teóricos y cuantitativos. Comenzando con la recopilación de datos para el cálculo de la demanda de potencia por medio de encuestas, llevando así a definir el caudal necesario y ecológico, la selección de la turbina adecuada, el cálculo del diámetro de la tubería, el cálculo de inversión inicial, operación y mantenimiento de la pequeña central, determinando el costo nivelado de la energía (LCOE), el periodo de recuperación de la inversión en los escenarios con y sin financiamiento, el valor presente neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), concluyendo con la tarifa eléctrica más baja comparando el SIN y la pequeña central. Se propone una metodología para el desarrollo y financiamiento del proyecto, se categoriza el impacto ambiental y se mencionan medidas de mitigación para diferentes aspectos ambientales. Con esta investigación se pretende ampliar el conocimiento sobre pequeñas centrales hidroeléctricas desconectadas del SIN en un contexto rural hondureño y generar premisas para estudios posteriores en dicha área.

Palabras clave: Sistema Interconectado Nacional (SIN), fallas eléctricas, abastecimiento eléctrico continuo, desconectada del sistema interconectado nacional.

ABSTRACT

In the current day and age, electricity is an area of vital importance to a country's economy. In developing countries, such as Honduras, the role of electricity is fundamental. In the months of January through June 2021, the System Operator (ODS) reported 5,094,494 kWh not delivered as a result of electrical failures in the Honduran distribution systems. The North-West coast, where the study area of this research is located, represents 44.44% of the kWh not distributed due to electrical failures in the national interconnected system (SIN). Statistics indicate that Honduras is currently the second Central American country that provides the most expensive service for electricity, with an average that ranges from 0.18 to 0.22 \$/kWh for the residential sector. The purpose of this research is to evaluate the technical and economic feasibility of a small hydroelectric plant for the continuous supply of electricity to the Suyapa residential area, in the department of Santa Barbara, off-grid, with a lower tariff than the one established for the Honduran residential sector. The study methodology is structured by theoretical and quantitative methods. Starting with the collection of data for the calculation of the power demand through surveys, leading to the definition of the necessary and ecological flow, the selection of the appropriate turbine, the calculation of the pipe diameter, the calculation of the initial investment, operation and maintenance of the small plant, determining the levelized cost of energy (LCOE), the recovery period of the investment in the scenarios with and without financing, the net present value (NPV) and the internal rate of return (IRR), concluding with the lowest electricity tariff comparing the SIN and the small plant. A methodology for the development and financing of the project is proposed, the environmental impact is categorized and mitigation measures for different environmental aspects are mentioned. The aim of this research is to increase the knowledge about small off-grid hydroelectric power plants in a rural Honduran context and to generate premises for further studies in this area.

Key words: National Interconnected System (SIN), electrical failures, continuous electricity supply, off-grid.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del problema.....	1
2.1.	Precedentes del problema	1
2.2.	Definición del problema.....	4
2.3.	Justificación.....	5
2.4.	Preguntas de investigación.....	9
2.5.	Objetivos.....	9
2.5.1.	Objetivo general	9
2.5.2.	Objetivos específicos.....	9
III.	Marco Teórico.....	11
3.1.	Importancia de la energía eléctrica en la sociedad.....	11
3.2.	Fallas de energía eléctrica en América latina y el mundo	14
3.3.	Pérdidas de energía eléctrica en Honduras.....	16
3.4.	Las Energías renovables como solución a un sistemas eléctrico ineficiente.....	18
3.4.1.	Definición de energías renovables.....	19
3.4.2.	Tipos de energía renovable	20
3.4.3.	Ventajas de la energía renovable	21
3.5.	Energía renovable off-grid	22
3.5.1.	Contexto Global	23
3.5.2.	Contexto Latinoamericano.....	24
3.5.3.	Contexto Hondureño	25

3.6.	Teorías de sustento.....	26
3.7.	Energía hidráulica América Latina y global.....	26
3.8.	Energía hidráulica en Honduras.....	27
3.9.	Funcionamiento de las centrales hidroeléctricas.....	28
3.9.1.	Clasificación de las centrales hidroeléctricas según la capacidad instalada.....	29
3.9.2.	Clasificación de las centrales hidroeléctricas según el aprovechamiento del agua	29
3.9.3.	Clasificación de las centrales hidroeléctricas según su altura de caída del agua.....	31
3.9.4.	Clasificación de las turbinas hidráulicas.....	31
3.10.	Fallos eléctricos más comunes en las centrales hidroeléctricas.....	33
3.11.	Pequeñas Centrales hidroeléctricas.....	34
3.11.1.	Proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Honduras.....	34
IV.	Metodología.....	37
4.1.	Enfoque.....	37
4.2.	Variables de Investigación.....	38
4.2.1.	Variables dependientes.....	38
4.2.2.	Variables independientes.....	39
4.3.	Técnicas e Instrumentos Aplicados.....	40
4.3.1.	Instrumentos aplicados.....	40
4.4.	Población y muestra.....	40
4.4.1.	La colonia Suyapa, departamento de Santa Bárbara, municipio de Santa Bárbara.	40
4.4.2.	Población.....	41
4.4.3.	Muestra.....	42
4.5.	Metodología de estudio.....	43

4.5.1.	Demanda eléctrica.....	44
4.5.2.	Cálculo de caudal.....	45
4.5.3.	Caudal ambiental.....	47
4.5.4.	Salto de agua	48
4.5.1.	Selección de turbina hidráulica.....	51
4.5.2.	Generación de la PCH.....	53
4.5.3.	Eficiencia de la turbina.....	54
4.5.4.	Estructuras que conforman una PCH (obra civil).....	54
4.6.	Cronograma de actividades.....	56
V.	Resultados y Análisis.....	58
5.1.	Análisis técnico	59
5.1.1.	Consumo promedio de la Colonia	59
5.2.	Dimensionar la PCH.....	63
5.2.1.	Salto neto	63
5.2.2.	Caudal.....	63
5.2.3.	Cálculo del caudal método sección-velocidad.....	65
5.2.4.	Turbina hidráulica.....	66
5.2.5.	Eficiencia de la turbina.....	66
5.2.6.	Ubicación de los elementos de la PCH.....	68
5.3.	Determinar producción de energía eléctrica de la PCH.....	71
5.4.	Análisis económico.....	72
5.4.1.	Costos totales.....	72
5.4.2.	Costos anuales.....	73

5.4.3.	Factor de Planta	74
5.4.1.	LCOE	75
5.4.2.	El VAN y la TIR	75
5.4.3.	Comparación de VAN y TIR para ambos escenarios.....	78
5.4.4.	Opción más viable con respecto a costo.....	79
5.4.5.	Metodología para desarrollo y financiamiento del proyecto	81
5.5.	Estudio ambiental.....	82
5.5.1.	Categorización del proyecto	83
5.5.2.	Medidas de mitigación.....	83
VI.	Conclusiones.....	87
VII.	Recomendaciones	90
VIII.	Bibliografía	91
IX.	Anexos	100

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Evolución de la demanda máxima anual en Honduras de años 2000-2016.....	1
Ilustración 2. Porcentaje de pérdidas eléctricas totales en Centroamérica de años 1990-2012.....	3
Ilustración 3. Mapa de las cuencas hidrográficas de Honduras	4
Ilustración 4. kWh no entregados por falla a nivel nacional primeros seis meses, año 2021	6
Ilustración 5. kWh no entregados por falla en el Litoral Nor-occidente primeros seis meses, año 2021.....	7
Ilustración 6. Interrupciones eléctricas mensuales primeros dos meses año 2021 y su duración en horas	8
Ilustración 7. Fluctuación del precio del kWh hondureño	8
Ilustración 8. Índice de Desarrollo Humano (IDH) frente al consumo de energía primaria per cápita en algunos países.....	12
Ilustración 9. Producto Interno Bruto (PIB) frente al consumo de energía primaria per cápita en algunos países.....	13
Ilustración 10. Promedio de interrupciones eléctricas mensuales a lo largo del mundo y su duración (horas).....	15
Ilustración 11. Centroamérica: Evolución de las pérdidas eléctricas 1990-2015	17
Ilustración 12. Matriz de generación eléctrica, energía vendida y pérdidas de los años 2005-2017	18
Ilustración 13. Ventajas de la energía renovable.....	22
Ilustración 14. Distribución de las hidroeléctricas de Honduras año 2017	28
Ilustración 15. Clasificación de las centrales hidroeléctricas según altura de caída de agua.....	31
Ilustración 16. Turbinas de acción.....	32
Ilustración 17. Turbinas de reacción.....	32

Ilustración 18. Causas de fallos en el suministro eléctrico de centrales hidroeléctricas	33
Ilustración 19. Esquema metodológico de la investigación.....	37
Ilustración 20. Variables dependientes de la investigación.....	39
Ilustración 21. Variables independientes de la investigación.....	39
Ilustración 22. Metodología a seguir para el análisis	43
Ilustración 23. Precipitaciones mensuales en la colonia Suyapa.....	48
Ilustración 24. Métodos para la medición del salto de agua o geodésico.....	49
Ilustración 25. Ruta más cercana de la cuenca hidrográfica a la zona estudiada.....	50
Ilustración 26. Mapa de elevación, punto bajo para la casa de máquinas.....	50
Ilustración 27. Mapa de elevación, punto más alto para la bocatoma	51
Ilustración 28. Gráfico de selección de turbina $Q[m^3/s]$ vs $H[m]$	52
Ilustración 29. Estructura civil de una PCH	56
Ilustración 30. Estado actual para generación de energía eléctrica.....	58
Ilustración 31. Tecnología propuesta para la generación de energía eléctrica	58
Ilustración 32. Perfil de carga promedio días de semana por hogar en la colonia Suyapa	62
Ilustración 33. Perfil de carga promedio fines de semana por hogar en la colonia Suyapa.....	62
Ilustración 34. Caudales promedio mensuales río Ulúa año 2015	63
Ilustración 36. Gráfica de eficiencia de turbina Kaplan con respecto al caudal.....	67
Ilustración 38. Ubicación de los elementos de la PCH.....	70
Ilustración 39. Mapa postes de distribución.....	71
Ilustración 40. Flujo de efectivo sin financiamiento.....	76
Ilustración 41. Flujo de efectivo con financiamiento	77
Ilustración 42. Comparación del ROI	77

Ilustración 43. Comparación del VAN	78
Ilustración 44. Comparación de la TIR.....	79
Ilustración 45. Proceso de cobro del consumo mensual eléctrico	82
Ilustración 46. Proceso de financiamiento para la construcción de la central	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Centroamérica: Evolución de porcentaje de las pérdidas eléctricas 1990-2015	16
Tabla 2. Clasificación de hidroeléctricas según la capacidad instalada por OLADE.....	29
Tabla 3. Clasificación de las hidroeléctricas según la capacidad instalada por ENEE.....	29
Tabla 4. Censo poblacional de la Colonia Suyapa dividido por sectores del año 2020	42
Tabla 5. Demanda propuesta para distintas poblaciones por el método de Nosaki	44
Tabla 6. Perfil de carga por equipamiento doméstico.....	45
Tabla 7. Especificaciones de las turbinas hidráulicas	52
Tabla 8. Componentes de construcción civil en una PCH	55
Tabla 9. Cronograma de actividades realizadas semanalmente a lo largo de diez semanas.....	57
Tabla 10. Demanda total de potencia de la colonia Suyapa.....	61
Tabla 11. Caudales promedio mensuales del río Ulúa año 2015.....	64
Tabla 12. Caudal ecológico restante de los promedios mensuales	65
Tabla 13. Promedios de mediciones realizadas en el río Ulúa	66
Tabla 14. Eficiencia de turbina Kaplan.....	67
Tabla 15. Energía eléctrica anual producida por la PCH.....	72
Tabla 16. Costos de equipos, componentes eléctricos y obras civiles.....	73
Tabla 17. Costos anuales O&M, costos administrativos e imprevistos.....	74
Tabla 18. Valores obtenidos del VAN y la TIR.....	78
Tabla 19. Total de pago anual para cubrir el pago anual de O&M	80
Tabla 20. Tabla de categorización del proyecto.....	83
Tabla 21. Medidas de mitigación para la calidad del suelo	83
Tabla 22. Medidas de mitigación para el aire y emisiones de ruido.....	84

Tabla 23. Medidas de mitigación para el paisaje.....	85
Tabla 24. Medidas de mitigación para la calidad del agua.....	85

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para calcular la muestra de una población finita.....	42
Ecuación 2. Cálculo de demanda de potencia propuesta por el método Nosaki.....	44
Ecuación 3. Cálculo de caudal método sección-velocidad.....	47
Ecuación 4. Cálculo de la potencia de la turbina hidráulica.....	53
Ecuación 5. Demanda de las familias beneficiadas.....	59
Ecuación 6. Consumo específico por beneficiario	59
Ecuación 7. Demanda anual de potencia para el año de inicio	60
Ecuación 8. Consumo anual de energía.....	60
Ecuación 9. Longitud de la tubería	68
Ecuación 10. Diámetro de tubería.....	69
Ecuación 11. Factor de planta.....	74
Ecuación 12. Costo nivelado de energía.....	75
Ecuación 13. Cálculo de pago anual para suplir O&M	80
Ecuación 14. Consumo kWh/mes para un cliente menor a 1,023 kWh	81
Ecuación 15. Total a pagar, costo por alumbrado público	81

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Foto de censo poblacional 2019.....	100
Anexo 2. Fotos de trabajo de campo.	101
Anexo 3. Parámetros de entrada para el cálculo financiero del proyecto.....	102
Anexo 4. Vistas geográficas del sistema SCADA.....	102
Anexo 5. Cálculo de caudal promedio mensual año 2015	103
Anexo 6. Cálculo del consumo promedio de energía eléctrica por hogar de la colonia.....	103

LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO

PCH: Pequeña Central Hidroeléctrica.

LGIE: Ley General de la Industria Eléctrica.

EEH: Empresa Energía Honduras.

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

ENEE: Empresa Nacional de Energía Eléctrica.

kWh: Kilovatio-hora.

Red de distribución: Es la parte del sistema de suministro eléctrico cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales.

SICA: Sistema de la Integración Centroamericana.

CREE: Comisión Reguladora de Energía Eléctrica.

ODS: Operador del Sistema.

SIN: Sistema Interconectado Nacional.

SAPP: La Superintendencia de Alianzas Público-Privadas.

IDH: Índice de Desarrollo Humano

PIB: Producto Interno Bruto

IEA: International Energy Agency

IRENA: International Renewable Energy Agency

UN: United Nations

OLADE: Organización Latinoamericana de Energía

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la Electricidad es un área de vital importancia para la economía de un país. Para países en vías de desarrollo como Honduras, un buen servicio de energía eléctrica es fundamental, ya que el índice de desarrollo humano de las sociedades esté ligado al consumo de energía eléctrica de calidad (Barahona, 2019). Cuando las actividades económicas de un país se ven intervenidas por servicios eléctricos ineficientes, se impide el desarrollo socioeconómico del mismo, se convierte en un obstáculo para el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) por habitante y, en última instancia, para el mejoramiento del bienestar de la población (Vázquez, 2010).

Un 36.9% de empresas ubicadas en América Latina declaran que el servicio eléctrico es uno de los mayores obstáculos para realizar sus actividades diarias. En Asia y Europa, el porcentaje de empresas que identifican el servicio eléctrico como un inconveniente para realizar sus actividades diarias es del 16.8% y 18.5%, respectivamente (Levy & Carrasco, 2020).

En los seis meses transcurridos del año 2021, el Operador del Sistema (ODS) reportó 5,094,494 kWh no entregados como consecuencia de las fallas en los sistemas de distribución hondureño. Con respecto al litoral Nor-occidente, zona en la que se ubica el área de estudio de esta investigación, durante esos primeros seis meses del año 2021 se reportaron 2,265,026 kWh no entregados a hogares por fallas en el sistema. Esto representa un 44.44% de los kWh no distribuidos por fallas en el sistema interconectado nacional, mismos que se reparten en el litoral Nor-occidente, y podemos evidenciar que, la tendencia va en aumento, con la ilustración 5.

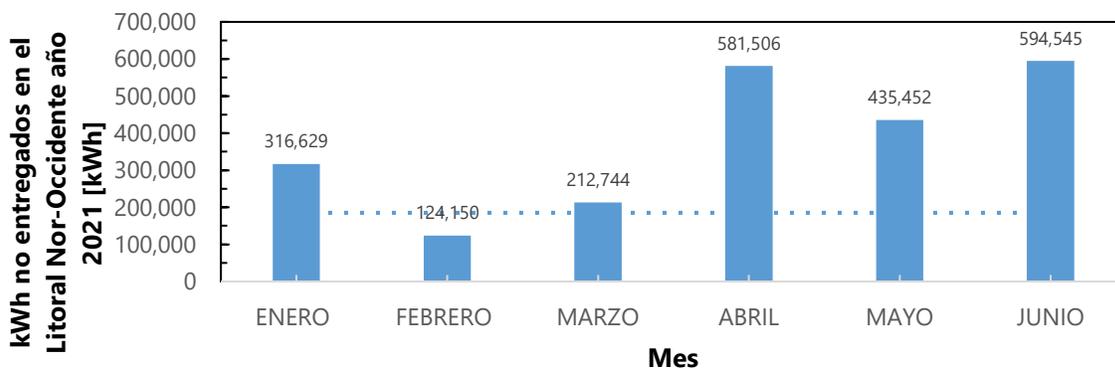


Ilustración 1. kWh no entregados por falla en el Litoral Nor-occidente primeros seis meses, año 2021

Fuente: El Operador del Sistema (ODS). Recopilación de datos y elaboración propia.

En los primeros dos meses del año 2021, se reportaron tres cortes de energía eléctrica con una duración de 7 horas 56 minutos, 6 horas 6 minutos y 5 horas 45 minutos respectivamente, según datos recopilados del ODS.

Las estadísticas señalan que actualmente Honduras se encuentra entre los países de Centroamérica que brindan el servicio más caro por energía eléctrica en los últimos años, con un promedio que va desde 18 a 22 centavos de dólar el kilovatio hora, para la tarifa residencial. Guatemala es el país centroamericano con los costos de energía más cara de la región, 25 centavos de dólar el kWh, Belice con 22 centavos de dólar el kWh, a este le sigue Nicaragua, con un valor de 21 centavos de dólar el kWh, El Salvador el valor es de 20 centavos de dólar el kWh, Panamá, 16 centavos de dólar el kWh, y el más bajo de la región es Costa Rica con 14 centavos de dólar el kWh (Prices, 2020). Se espera que, al ser el segundo país centroamericano con la tarifa más alta por servicio eléctrico, esté sea eficiente y de buena calidad.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal, analizar la factibilidad técnico-económica de una pequeña central hidroeléctrica que supla la demanda de energía eléctrica para el abastecimiento eléctrico continuo, en la colonia Suyapa, municipio de Santa Bárbara, departamento de Santa Bárbara, Honduras, desconectada del Sistema Interconectado Nacional (SIN). La tecnología propuesta se observa en la ilustración 30. Se realizó una recopilación de datos para determinar el consumo promedio de los hogares del sector, análisis de factores determinantes como el salto de agua, la turbina a utilizar y el caudal, para la producción de energía eléctrica de la PCH, se generaron perfiles del terreno del lugar donde la pequeña central se ubicará, para obtener un salto de agua más exacto, las mediciones de caudal se obtuvieron gracias a mediciones recopiladas por COPECO, de la estación meteorológica más cercana a la Colonia Suyapa, se realizaron cálculos de presupuestos y se propone una tarifa establecida por kWh para los consumidores. A partir de dichos datos se determinó la viabilidad con respecto a costo de la pequeña central, comparando un escenario con y sin financiamiento para el desarrollo del proyecto.

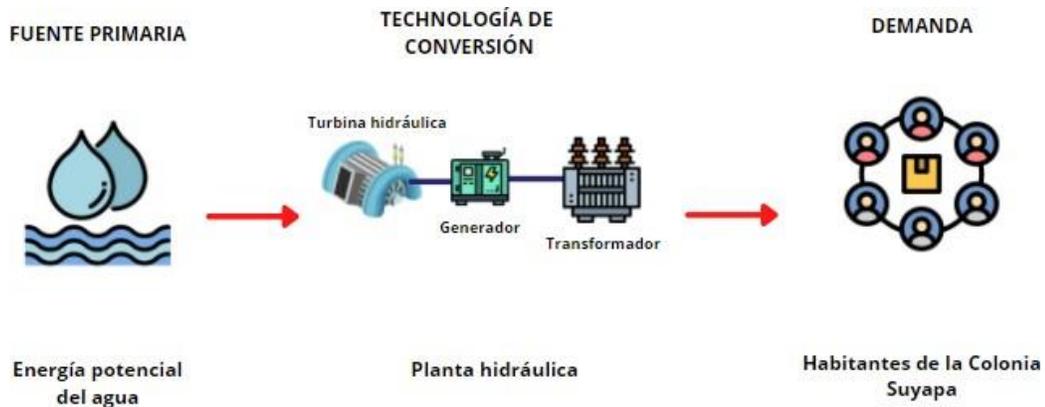


Ilustración 2. Tecnología propuesta para la generación de energía eléctrica

Fuente: Elaboración propia.

Algunos trabajos similares a la investigación realizada son; para comenzar la tesis de (Londaño & Pinto, 2017), en donde realizaron un diseño de una microcentral hidroeléctrica partiendo de un salto hidráulico natural, generando un perfil del terreno desde el nacimiento del río, hasta la desembocadura del mismo. El segundo ejemplo es la tesis de (Abarca, 2012), en la cual las mediciones de caudal se realizaron directamente en la cuenca hidrográfica ubicada en Costa Rica, calculando el ancho del río, profundidad y el número de mediciones realizadas. Elvis Goyzueta, estudia en su tesis (Goyzueta, 2017), el diseño de una minicentral hidroeléctrica, en Perú consideraron el método del ingeniero Tsuguo Nozaki para obtener la demanda de la población a la cual se le realizará el suministro de servicio eléctrico, el problema analizado con el método Nosaki, es que, los rangos con respecto a la cantidad de personas son muy variantes. En Honduras, la pequeña central hidroeléctrica Plan Grande, (Maradiaga, 2019), en la que el pago mensual por servicio de energía eléctrica se realiza por medio de una cuota establecida, la cual considerando los electrodomésticos que se encuentren en la residencia. En la tesis de (Trujillo, 2017), la selección de la turbina hidroeléctrica, depende del valor del diámetro del rodete, ya que en función de dicho valor, se dimensiona la turbina, con la ayuda de una tabla donde se especifican las dimensiones de diferentes turbinas.

En el capítulo I de esta investigación se encuentra la introducción, en el capítulo II, el planteamiento del problema, en el cual se encontrará la justificación, tanto como las preguntas y objetivos de la investigación. Capítulo III, marco teórico, en donde se tratará de aclarar conceptos

y escenarios en el macro-entorno y micro-entorno del tema a tratar. Capítulo IV, metodología, en ella se plantean métodos teóricos y cuantitativos para determinar la producción de la pequeña central hidroeléctrica, comenzando por determinar el consumo de la colonia evaluada, dimensionando la pequeña central, calculando los costos que conlleva la instalación de la pequeña central hidroeléctrica, evaluarlo mediante parámetros financieros como la TIR, el VAN y el LCOE, y culminando la investigación con la opción más viable con respecto a costo para la colonia Suyapa en el sector rural hondureño. Se calculará el impacto ambiental de la pequeña central y propondrán medidas de mitigación ante diferentes aspectos ambientales. En el capítulo V, se exponen los resultados y análisis de la investigación, seguido del capítulo VI donde se exponen las conclusiones del proyecto, por último, las recomendaciones. Se espera que este proyecto de investigación sirva de premisa para futuras investigaciones del tema y ampliar el conocimiento sobre las pequeñas centrales hidroeléctricas desconectadas de la red de distribución hondureña.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se expondrá el problema de investigación que se quiere analizar y resolver. Se demostrarán cuáles son los precedentes de dicho problema y las razones por las cuales fue tomado como un tema relevante a estudiar. Asimismo, se presentará la definición del problema, la justificación, las preguntas de investigación, y los objetivos.

2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Las sociedades humanas atraviesan una era de constante crecimiento y evolución en todos los aspectos, acelerada por los desarrollos de la ciencia y la tecnología en un contexto global. La evolución con respecto al uso de la energía tiene su génesis hace más de un millón de años con el descubrimiento del fuego, de ese momento histórico hasta nuestros días, ha transcurrido un enorme tránsito lleno de avances y descubrimientos, como la imprenta, en el año 1430, la electricidad, en el siglo XIX, las máquinas a vapor, año 1712, la radio, en el año 1906, entre otros. La energía eléctrica es sin duda, uno de los aportes que marcan el inicio y fin de una era; el crecimiento constante de población, y con ella, inherentemente, el consumo energético aumentando, en la ilustración 1, podemos observar la evolución de la demanda en Honduras.

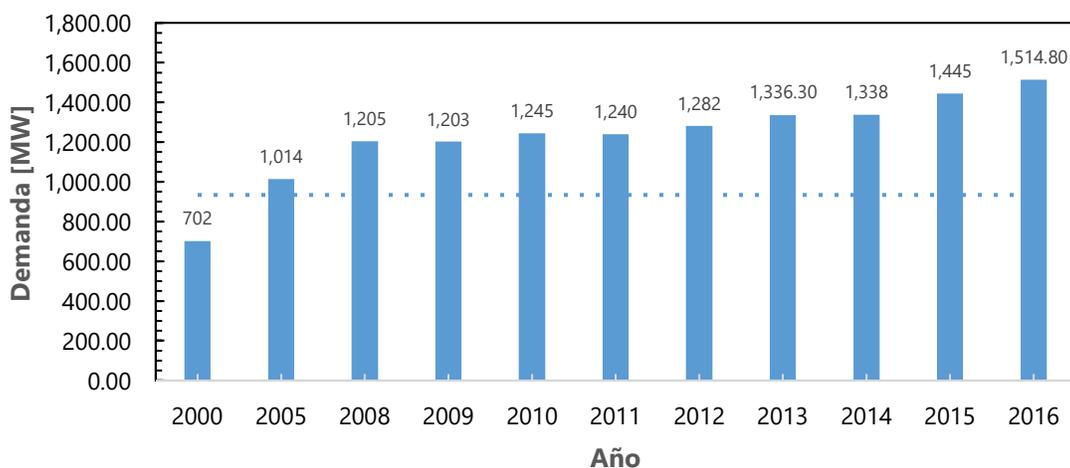


Ilustración 3. Evolución de la demanda máxima anual en Honduras de años 2000-2016.

Fuente: Sistema de la Integración Centroamericana (SICA). Elaboración propia.

Las estadísticas señalan que actualmente Honduras se encuentra entre los países de Centroamérica que brindan el servicio más caro por energía eléctrica en los últimos años, con un promedio que va desde 18 a 22 centavos de dólar el kilovatio hora en el sector residencial. Guatemala es el país centroamericano con los costos de energía más cara de la región, 25 centavos de dólar el kWh, Belice con 22 centavos de dólar el kWh, a este le sigue Nicaragua, con un valor de 21 centavos de dólar el kWh, El Salvador el valor es de 20 centavos de dólar el kWh, Panamá, 16 centavos de dólar el kWh, y el más bajo de la región es Costa Rica con 14 centavos de dólar el kWh (Prices, 2020).

Empresas como ENEE Y EEH y otros actores involucrados como La Superintendencia de alianzas Público-privadas (SAPP); deben buscar la estabilidad de precios. Se espera, que al tener uno de los servicios más caros de Centroamérica, la distribución y transmisión se acoplen a los precios, en otras palabras, se asume que el servicio sea de buena calidad. Podemos decir que la mala planificación, administración, corrupción y dependencia de los pocos proveedores, son las principales causas de las fallas y elevados precios de la electricidad (Data, 2018).

En Honduras, se publicó por vez primera el martes 20 de mayo del 2014, La Ley General de la Industria Eléctrica (LGIE), "con el objetivo de que la eficiencia del sector y la reducción de las pérdidas, así como la competencia en la generación de energía eléctrica, con lo cual, en el mediano plazo, el país podrá contar con tarifas competitivas en el ámbito regional" (Gaceta, 2014, p. 1).

Honduras, es el país centroamericano con mayor porcentaje de pérdidas eléctricas. Según la CEPAL, en el año 2017, en Honduras las pérdidas alcanzaron 35.2%, mientras que en Nicaragua fue de 21.6%, Guatemala de 17.1%, Panamá fue de 13.6%, El Salvador, 11.5% y Costa Rica es el más bajo con 10.9% (Tribuna, 2019).

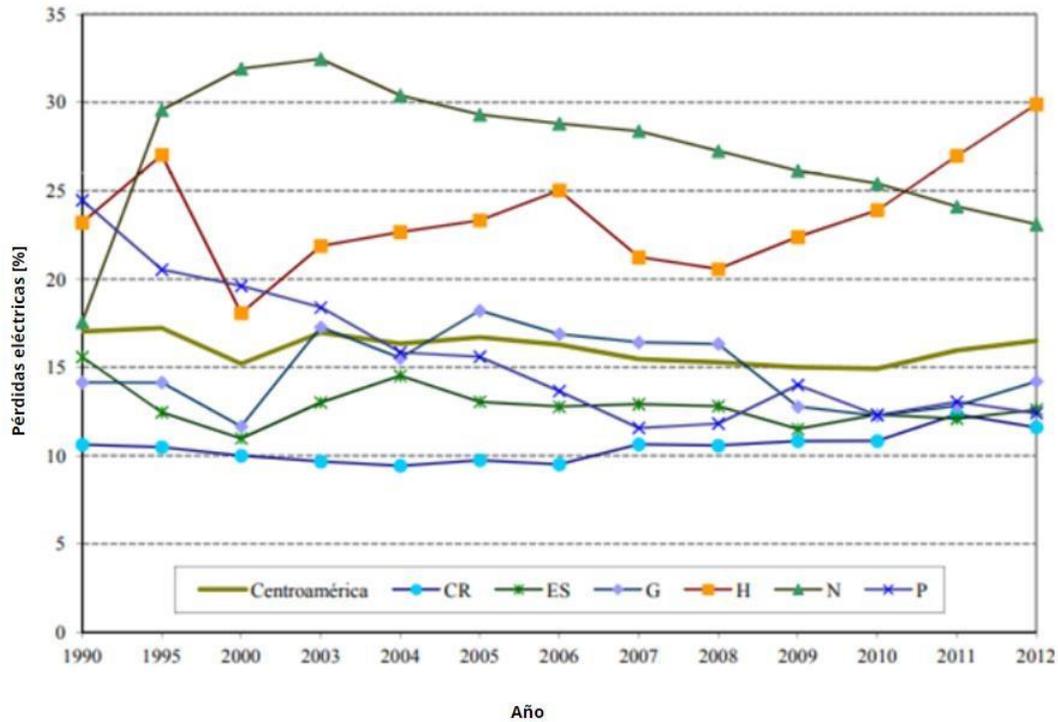


Ilustración 4. Porcentaje de pérdidas eléctricas totales en Centroamérica de años 1990-2012

Fuente: Modelo para la evaluación de las pérdidas en los sistemas eléctricos interconectados de Centroamérica.

A pesar de que, desde agosto de 2016, el consorcio privado Empresa Energía Honduras (EEH) opera el sistema de distribución eléctrica, y existe el compromiso de reducir en un 17% las pérdidas. Tres años después, aún no existen evidencias del cumplimiento de esa meta. (Barahona, 2019). Según el Departamento de Planificación de ENEE, al cierre del año 2018, las pérdidas fueron de 41.1%, aumentando un 9.9% (Heraldo, 2019). En el año 2011, se invirtieron 472 millones de dólares, con esa inversión millonaria, el gobierno hondureño implementó un plan de mejora a la red de distribución de energía en el país, que durante años ha generado problemas, solamente mejorando 11 de las 54 subestaciones ya existentes en el país (EFE, 2011).

2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Sectores poblacionales como la Colonia Suyapa, en el departamento de Santa Bárbara, municipio de Santa Bárbara, zona rural, en la que, las inversiones de mejora del Estado enfocados en las fallas eléctricas repercuten poco. En el plan de mejora que el gobierno hondureño y la ENEE propusieron para desarrollarse en los años 2011-2022; la zona norte del país donde se ubica Santa Bárbara, tiene nada más que el 4% de las inversiones destinadas a proyectos de renovación para líneas de distribución para la reducción de fallas eléctricas, catalogándolo como, la zona con menos inversiones para líneas de transmisión a nivel nacional, seguido de la zona Oriente, con un 5% de inversiones destinadas a líneas de transmisión, zona Sur, con un 40% y por ultimo zona Centro, con un 43% de inversiones destinadas a la calidad de las líneas de distribución (ENEE, 2011).

Considerando que el potencial hídrico en Honduras es abundante, ¿por qué no ser productores de nuestra propia energía? El territorio hondureño está surcado por una red hidrográfica que identifica 19 cuencas importantes, en la ilustración 3, se muestra la ubicación de cada una.

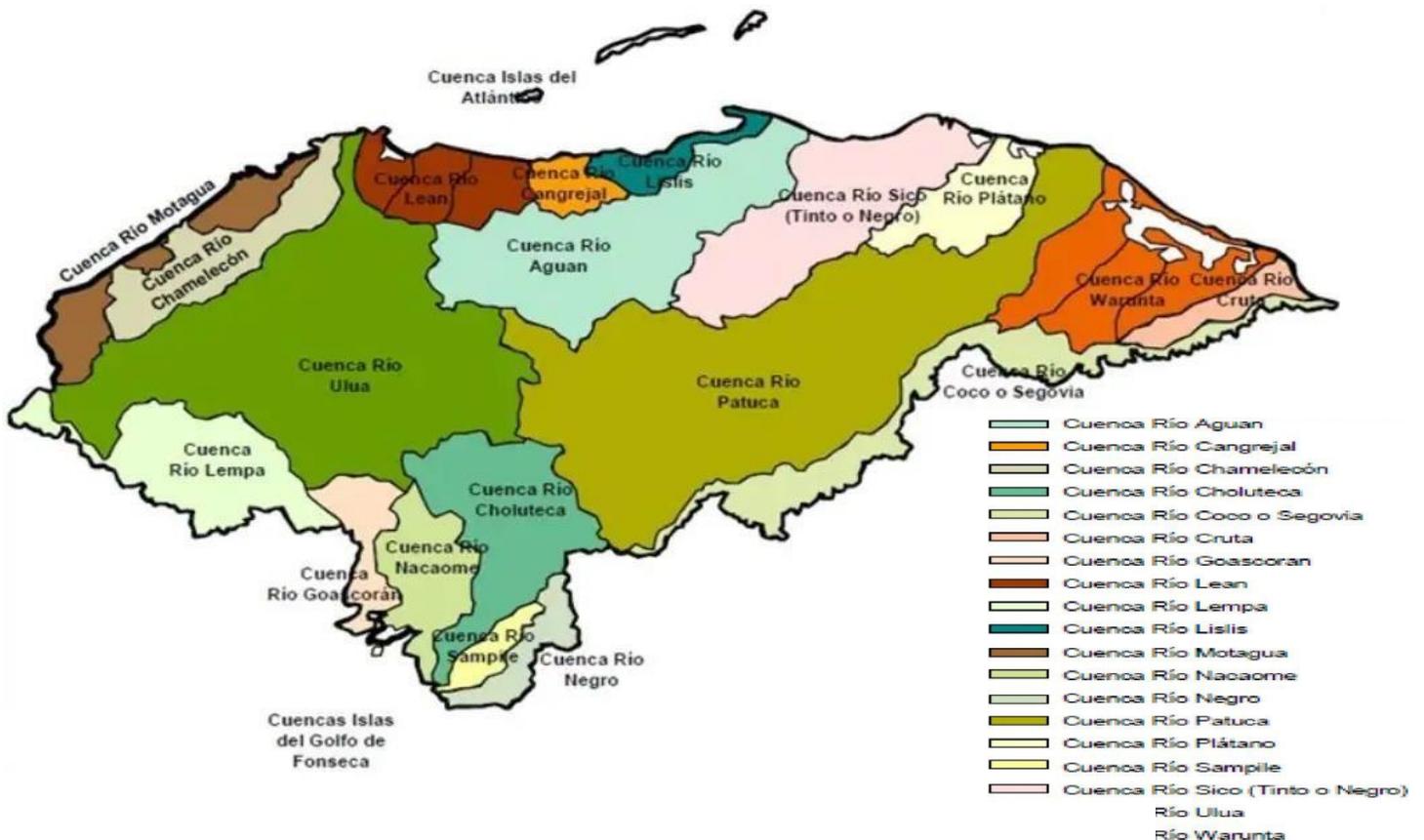


Ilustración 5. Mapa de las cuencas hidrográficas de Honduras

Fuente: Mapa de Honduras.

Este tipo de energía eléctrica es accesible en nuestra región por la potencia hidráulica que posee Honduras, así mismo es una buena alternativa por ser una energía que no genera residuos tóxicos y, por tanto, es limpia, con una vida útil larga para la producción de energía eléctrica en comparación con otras energías renovables como ser la energía solar fotovoltaica con una vida útil de 20 a 30 años, las centrales hidroeléctricas tienen una vida útil de 45, 60 o hasta 150 años (Verdes, 2010).

Actualmente, la posibilidad de ser un usuario aislado de la red de distribución eléctrica es poco estudiado, por tanto, es casi inexistente la disponibilidad de estudios en relación con ello en la zona de estudio. Es a partir de esa necesidad que, se intenta analizar la viabilidad o factibilidad desde el punto de vista económico y técnico, en función de las posibilidades de convertirse en un consumidor de energía eléctrica bajo la modalidad de energía off-grid, en un contexto rural hondureño.

2.3. JUSTIFICACIÓN

En los seis meses transcurridos del año 2021, el Operador del Sistema (ODS) reportó 5,094,494 kWh no entregados como consecuencia de las fallas en los sistemas de distribución hondureño, como se observa en la ilustración 4.

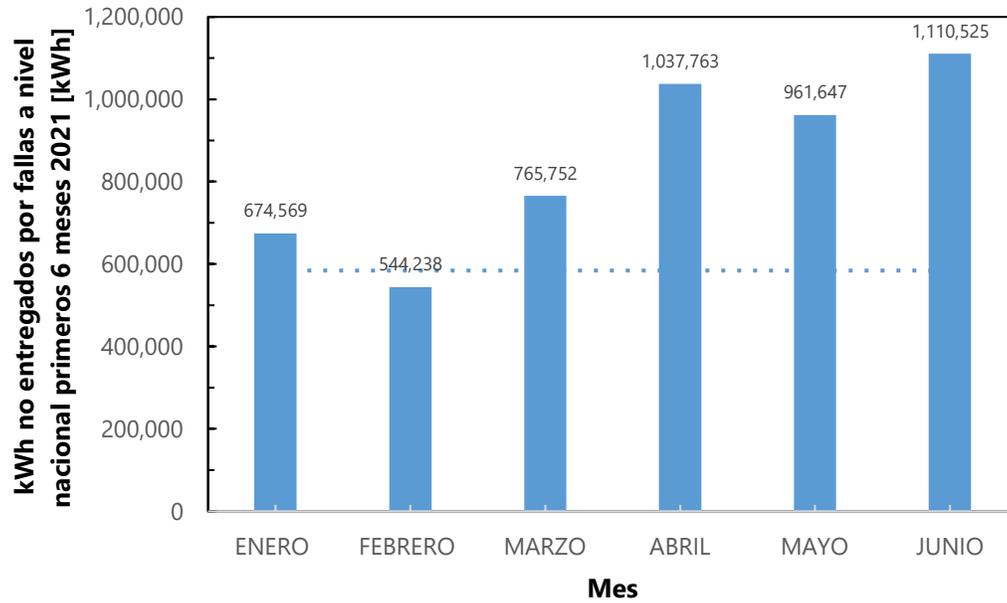


Ilustración 6. kWh no entregados por falla a nivel nacional primeros seis meses, año 2021

Fuente: El Operador del Sistema (ODS). Recopilación de datos y elaboración propia.

Con respecto al litoral Nor-occidente, zona en la que se ubica este proyecto de investigación, durante esos primeros seis meses del año 2021 se reportaron 2,265,026 kWh no entregados a hogares por fallas en el sistema. Esto representa un 44.44% de los kWh no distribuidos por fallas en el sistema interconectado nacional, mismos que se reparten en el litoral Nor-occidente, y podemos evidenciar que, la tendencia va en aumento, con la ilustración 5.

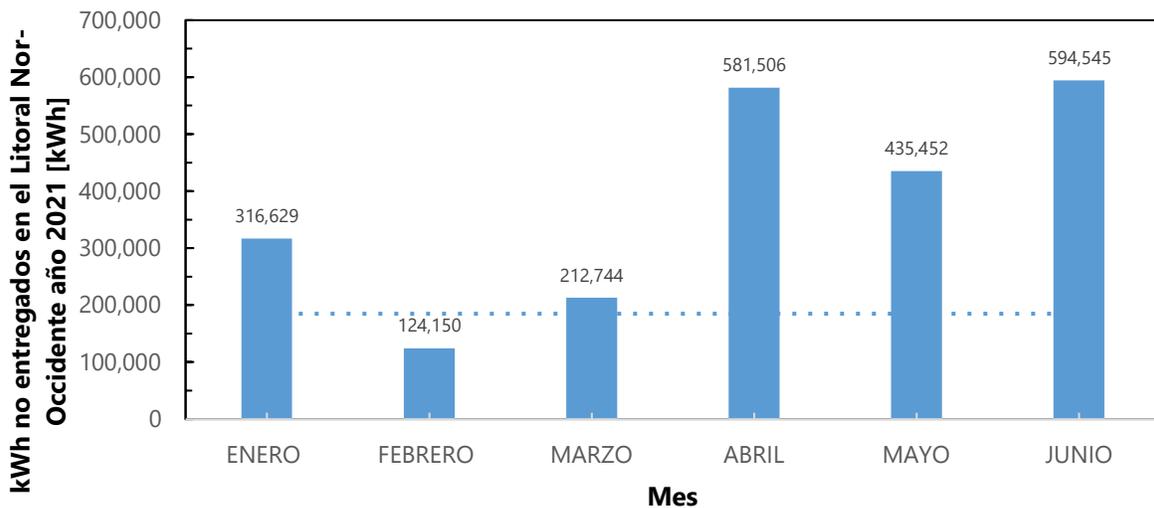


Ilustración 7. kWh no entregados por falla en el Litoral Nor-occidente primeros seis meses, año 2021

Fuente: El Operador del Sistema (ODS). Recopilación de datos y elaboración propia.

En el departamento de Santa Bárbara, el mes de enero del año 2021, se reportaron 10 interrupciones eléctricas, es su mayoría por causa desconocida; la suma de todas estas fallas rondaba diez y seis horas sin servicio eléctrico, para el mes de febrero del mismo año, se reportaron nueve fallas en el sistema eléctrico, la suma de todas estas fallas formaba un total de once horas al mes, se puede observar en la ilustración 6. Se calculo el promedio que tarda en restablecerse el servicio eléctrico y este fue de tiempo fue de 2 horas por cada vez que sucede una falla en el SIN.

En los primeros dos meses del año 2021, se reportaron tres cortes de energía eléctrica con una duración de 7 horas 56 minutos, 6 horas 6 minutos y 5 horas 45 minutos respectivamente, según datos recopilados del ODS. Dichas interrupciones ocurridas en el departamento de Santa Bárbara, municipio de Santa Bárbara, lugar en el que se ubica el proyecto de investigación.

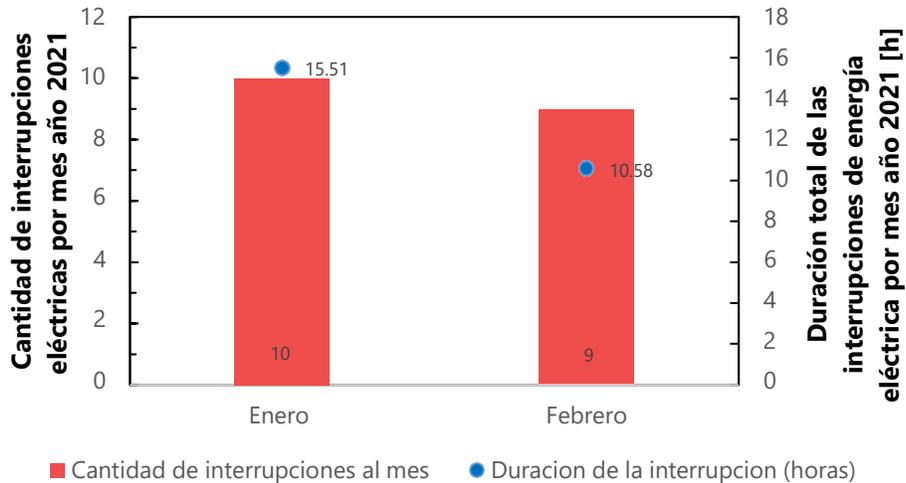


Ilustración 8. Interrupciones eléctricas mensuales primeros dos meses año 2021 y su duración en horas

Fuente: Operador del Sistema (ODS). Recopilación de datos y elaboración propia.

“Las pérdidas técnicas incrementan el valor de L 3.35 a L 5.16 por kWh; ya que es energía que no se sabe quién la consume y tiene un costo, por consiguiente, ese costo se le carga a los que sí se sabe están consumiendo, aunque no la consuman ellos” (ASJ, 2021, p. 7). Durante años la fluctuación en el precio de la energía inquieta a los hondureños, precios que van de 3.7 a 4.8 L/kWh.

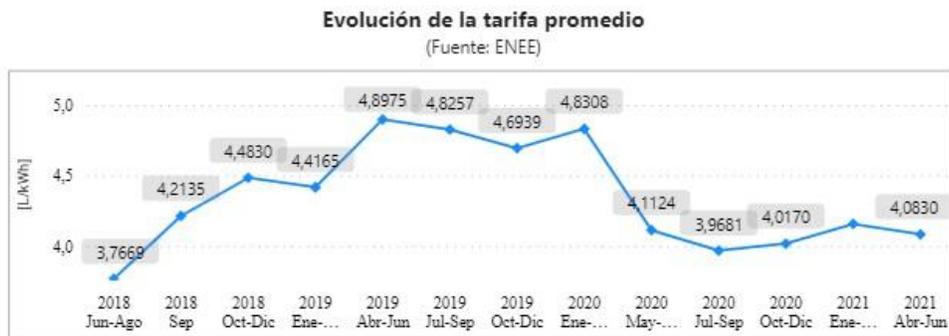


Ilustración 9. Fluctuación del precio del kWh hondureño

Fuente: Comisión Reguladora de Energía Eléctrica (CREE).

La economía local, el desarrollo social y las actividades diarias, se ven afectadas por las constantes fallas en el sistema eléctrico; por lo tanto, la presente investigación resulta importante para

explorar la posibilidad de poder tener un sistema eléctrico constante, desconectado a la red de distribución; concluyendo en la viabilidad en términos económicos y técnicos para el usuario en el sector rural hondureño.

2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuánto es el consumo de energía eléctrica de la Colonia Suyapa?
2. ¿Puede el recurso hídrico propuesto suplir la demanda eléctrica de la Colonia Suyapa?
3. ¿Cuáles serán los costos de instalación de una pequeña central hidroeléctrica (PCH) sin conexión a la red distribución para la colonia Suyapa?
4. ¿Cuál será la TIR, el VAN y el LCOE del proyecto de una pequeña central hidroeléctrica en la colonia Suyapa, en el departamento de Santa Bárbara, ¿municipio de Santa Bárbara?
5. ¿Qué opción es más viable con respecto a costos para los sectores rurales del país, consumir de una PCH aislada o seguir consumiendo del SIN?

2.5. OBJETIVOS

2.5.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la factibilidad tecno-económica de una pequeña central hidroeléctrica que supla la demanda de energía eléctrica para el abastecimiento eléctrico continuo de la Colonia Suyapa, en el municipio de Santa Bárbara, departamento de Santa Bárbara, Honduras.

2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el consumo promedio de energía eléctrica de la Colonia Suyapa.
2. Dimensionar la pequeña central hidroeléctrica capaz de producir energía eléctrica para el consumo de la colonia Suyapa.

3. Determinar la producción de energía eléctrica de la pequeña central hidroeléctrica aislada de la red, para el consumo eléctrico de la Colonia Suyapa, en Santa Bárbara, S.B.
4. Calcular los costos que conlleva la instalación de una pequeña central hidroeléctrica off-grid en la Colonia Suyapa.
5. Analizar la opción más viable con respecto a costo para el consumidor, entre la pequeña central hidroeléctrica aislada o el consumir del sistema interconectado nacional, calculando el LCOE del proyecto.
6. Determinar los parámetros financieros necesarios como el VAN y la TIR, para definir la viabilidad técnica y económica de la pequeña central hidroeléctrica en la Colonia Suyapa, en el departamento de Santa Bárbara, municipio de Santa Bárbara.
7. Categorización del impacto ambiental que genera la instalación de la pequeña central hidroeléctrica.

III. MARCO TEÓRICO

En este capítulo expondremos teóricamente conceptualizaciones, perspectivas, investigaciones y antecedentes, recopilando información a nivel de macro-entorno y micro-entorno, que sean considerados importantes o que sustentan el tema de estudio en el que estará basada la investigación.

3.1. IMPORTANCIA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA SOCIEDAD

La energía ha jugado un papel fundamental desde la época prehistórica; por ejemplo, cuando la humanidad descubrió los usos del fuego para calentar los espacios y para la cocción de alimentos, le permitió un desarrollo superior de su capacidad intelectual. En la sociedad moderna, todas las actividades dependen por completo del adecuado acceso y calidad a diversos tipos de energía.

“En los países en desarrollo, como Honduras, que tratan de mejorar sustancialmente el nivel de vida de la población, el papel de la energía eléctrica es fundamental, es imposible el desarrollo social, sin el suministro permanente de energía y a precios fijados de acuerdo con los costos de producción” (Barahona, 2019, p. 2).

“En el 2017, 64,3% de los hondureños se encontraban en condiciones de pobreza. El 60,4% de los habitantes del área urbana y el 69,3% del área rural eran pobres. De este total, el 58,8% estaban en condiciones de pobreza extrema; y el 10,5%, en pobreza relativa. Honduras ocupa el puesto 133 en el Índice de Desarrollo Humano (IDH), con un índice de 0,617.5 (medio)” (Pereira, 2019, p. 11).

Hoy en día la Industria de la Electricidad es un área de vital importancia para la economía de un país. No en vano, muchos la consideran, más que una actividad, un verdadero motor que impulsa el progreso de una sociedad. Todos los seres humanos son usuarios de los beneficios de la electricidad ya que la mayoría de las actividades y trabajos se llevan a cabo dependen de está, desde el funcionamiento de bancos, salones de belleza, hasta el uso de electrodomésticos, incluso actividades de recreación como ver la televisión.

En la ilustración 8, se representa el Índice de Desarrollo Humano (IDH) frente al consumo de energía primaria per cápita en algunos países. Este gráfico muestra que hay una relación directa entre el consumo de energía y la calidad de vida de la población de los países. “Sin embargo, una vez alcanzado un cierto valor del índice IDH, a medida que aumenta el consumo per cápita ya no se produce una mejora significativa del índice, como se observa en los países más ricos como Alemania, Suecia y Noruega” (Energies, 2020, párr. 3).

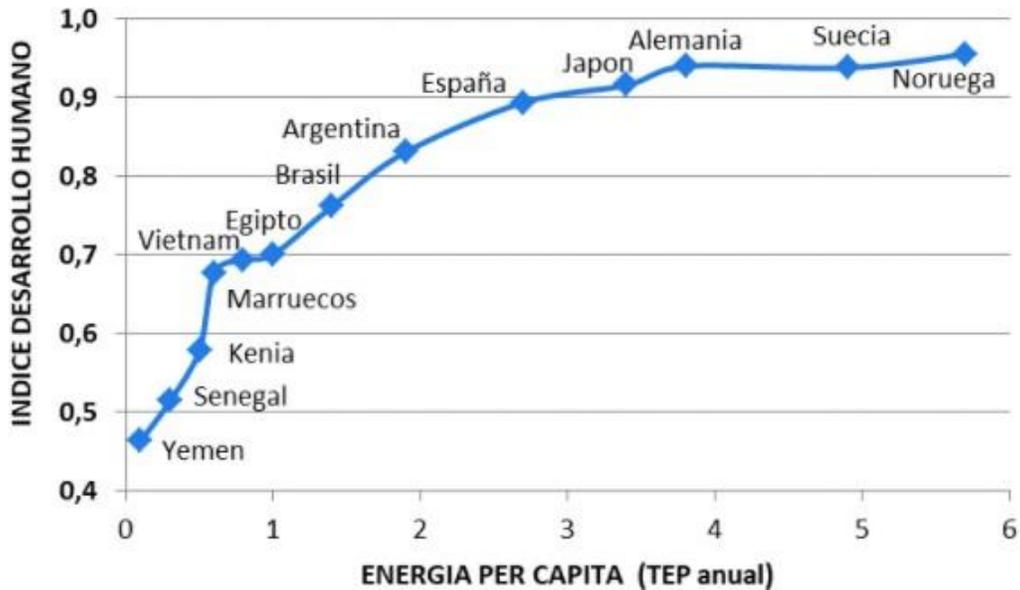


Ilustración 10. Índice de Desarrollo Humano (IDH) frente al consumo de energía primaria per cápita en algunos países

Fuente: Organización de Naciones Unidas (ONU).

Vázquez, (2010): “Limitaciones en la cobertura y la calidad del servicio de energía eléctrica representen a largo plazo un obstáculo para el desarrollo tecnológico, para el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) por habitante y, en última instancia, para el mejoramiento del bienestar de la población” (párr. 2).

Si ordenamos los países en función de su PIB per cápita, Honduras se encuentra en el lugar 141, por lo que sus habitantes tienen, según este parámetro, un bajo nivel de riqueza en relación con los 196 países de los que evaluaron. (Datosmacro, 2019)

Cuando las actividades económicas de un país se ven intervenidas por servicios eléctricos ineficientes, se impide el desarrollo socioeconómico del mismo, imposibilitando el desarrollo competitivo de este en el mercado.

ASOBANCARIA, 2021: "Un mayor crecimiento del PIB, se ve reflejado en mayor consumo y mayor capacidad adquisitiva de las personas" (párr. 7).

En la ilustración 9, se observa como países con alta capacidad económica y servicios eléctricos del primer mundo, como Alemania, Rusia, Estados Unidos y Noruega, se encuentran en lo alto del gráfico, mientras que países con escasos recursos económicos y con servicios eléctricos casi inexistentes, como India, Kenya, Etiopía, Nigeria, se encuentran en un nivel bajo en la gráfica comparativa de consumo energético versus el PIB.

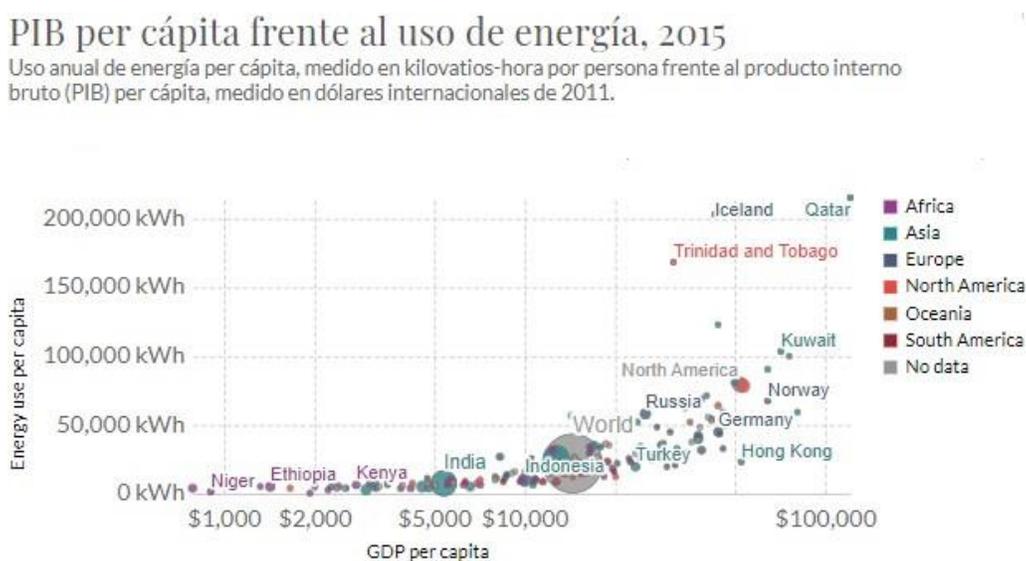


Ilustración 11. Producto Interno Bruto (PIB) frente al consumo de energía primaria per cápita en algunos países

Fuente: Agencia Internacional de Energía (AIE) a través del Banco Mundial.

Girón, 2007: "La vida en los países desarrollados ya no es posible sin el consumo de energía eléctrica. Tampoco, en las grandes ciudades de los países subdesarrollados se concibe la vida cotidiana sin la energía eléctrica, pero grandes cantidades de población que viven en las áreas rurales subsisten sin ella o con un servicio ineficiente de está" (p. 5).

3.2. FALLAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN AMÉRICA LATINA Y EL MUNDO

Levy, (2020) afirma:

América Latina, en promedio, goza de una mejor calidad de los servicios eléctricos que otras regiones del mundo en desarrollo. Las empresas de la región registran cerca de 3 interrupciones al mes, mientras que en el Sur de Asia las empresas reportan cerca de 25 interrupciones al mes. Por su parte, la duración de estas interrupciones es mayor que en países de Europa y Asia Central donde una interrupción del servicio eléctrico dura cerca de 72 minutos. En otras regiones como el África Sub-Saharan, las empresas gozan de un menor número de interrupciones, sin embargo, estas son de larga duración, véase la ilustración 7. (párr. 10)

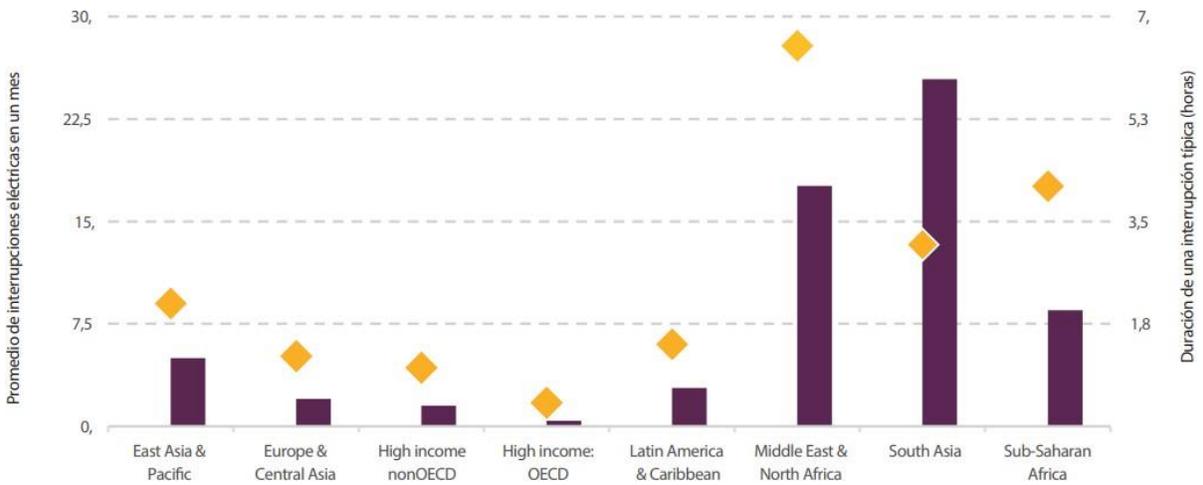


Ilustración 12. Promedio de interrupciones eléctricas mensuales a lo largo del mundo y su duración (horas)

Fuente: Banco Interamericano de Desarrollo (BID) con información de Enterprise Surveys.

Levy & Carrasco, (2020) afirman:

A pesar de que América Latina muestra mejores niveles de calidad que otras regiones del mundo, el 36.9% de empresas en la región identifican al servicio eléctrico como uno de los mayores obstáculos para realizar sus negocios. En otras regiones del mundo, por ejemplo, en el Este asiático y en Europa, el porcentaje de empresas que identifican a la electricidad como una restricción para realizar negocios es del 16.8% y 18.5%, respectivamente. Esto ha llevado a que un porcentaje considerable de empresas adquieran generadores de respaldo. En América Latina aproximadamente el 27% de las empresas son dueñas o comparten un generador de electricidad. En la región europea es donde menos días se debe esperar para obtener conexión a la red una vez se hace la solicitud de servicio. Mientras que en regiones como el África subsahariana las empresas deben

esperar hasta un promedio de 37 días, en América Latina el promedio se encuentra cercano a los 22 días. (p. 21)

HUB de energía (2019) menciona que en los en los sistemas de transmisión y distribución eléctricos de América Latina y el Caribe el año 2019, se perdió el 15% de la electricidad producida, igual a 1,659,187.78 GWh. Esto equivale a 3,477,870 viviendas en América Latina y El Caribe que podrían haber sido abastecidas con electricidad durante todo el año 2019 utilizando las pérdidas de los sistemas de transmisión y distribución.

3.3. PÉRDIDAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN HONDURAS

Según estimaciones en diferentes estudios del Banco Mundial (BM), el nivel aceptable de pérdidas debe rondar el 15%, en la tabla 1, podemos analizar que Honduras se encuentra fuera de los parámetros de desempeño aceptado.

Tabla 1. Centroamérica: Evolución de porcentaje de las pérdidas eléctricas 1990-2015

Año/País	Costa Rica	El Salvador	Guatemala	Honduras	Nicaragua	Panamá
1990	10.6	15.6	14.1	23.2	17.6	24.4
1995	10.5	12.5	14.1	27	29.6	20.5
2000	10	11	11.6	18.1	31.9	19.6
2003	9.7	13	17.3	21.9	32.5	18.4
2004	9.4	14.5	15.5	22.7	30.4	15.5
2005	9.7	13.1	18.2	23.3	29.3	15.6
2006	9.5	12.8	16.9	25	28.8	13.7
2007	10.6	12.9	16.4	21.2	28.4	11.6
2008	10.6	12.8	16.3	20.6	27.3	11.8
2009	10.8	11.5	12.8	22.4	26.1	14
2010	10.8	12.3	12.3	23.9	25.4	12.3
2011	12.3	12.1	12.8	27	24.1	13
2012	11.6	12.6	14.2	29.9	23.1	12.4
2013	11.6	12.1	16.8	31.2	22.8	13.9
2014				31.3	23.3	
2015				32.5		

Fuente: Centroamérica: Estadísticas de producción del subsector eléctrico, 2010, 2012, 2014 y 2015.

Montano (2016) afirma: "En el caso de Honduras, durante el periodo comprendido entre los años 2007 y 2015, se marca una tendencia creciente en las perdidas, con un máximo del 32.5%, es decir que cada 100kWh de energía producida, solo se logra aprovechar un 67.5%" (p. 78).

La ilustración 11, muestra claramente la tendencia del control de pérdidas de los países de Centroamérica en los últimos 12 años, con excepción de Honduras, el resto de los países de Centroamérica incluyendo Panamá, ha logrado mantener esa tendencia.

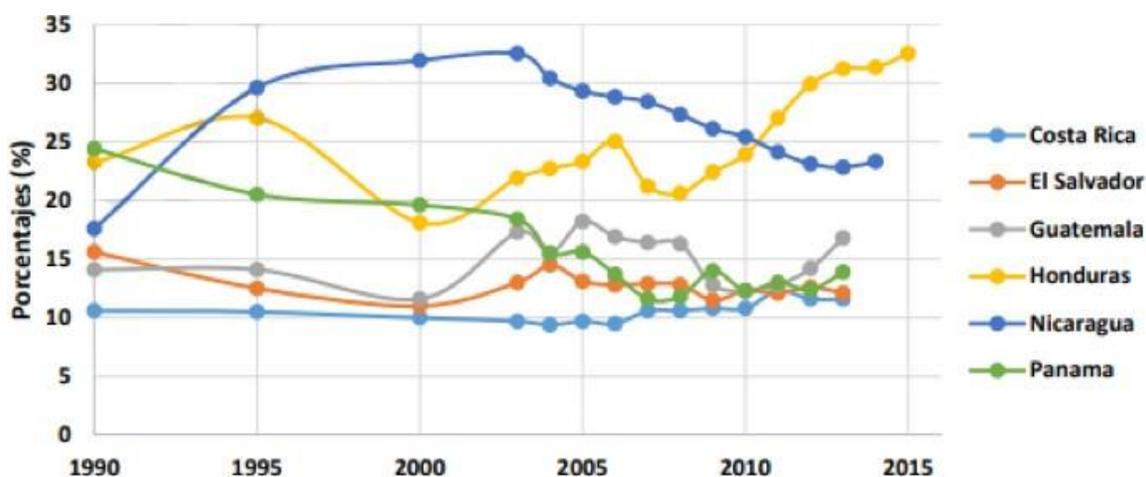


Ilustración 13. Centroamérica: Evolución de las pérdidas eléctricas 1990-2015

Fuente: Centroamérica: Estadísticas de producción del subsector eléctrico, 2010, 2012, 2014 y 2015.

Del 1 de diciembre del 2016 al 30 de noviembre del 2021, EEH está obligada a bajar las pérdidas de 31.95% a 17.95%, en otras palabras, reducir las pérdidas un 15% en cinco años. No obstante, a mayo del 2021, las perdidas suman un total de 34.26%, superior que la línea base del año 2016 de 31.95% y lejos de la meta establecida en el contrato de siete años de vigencia. El compromiso de EEH es bajar a 15.95% las pérdidas al cierre del año 2023 (Rodríguez, 2021).

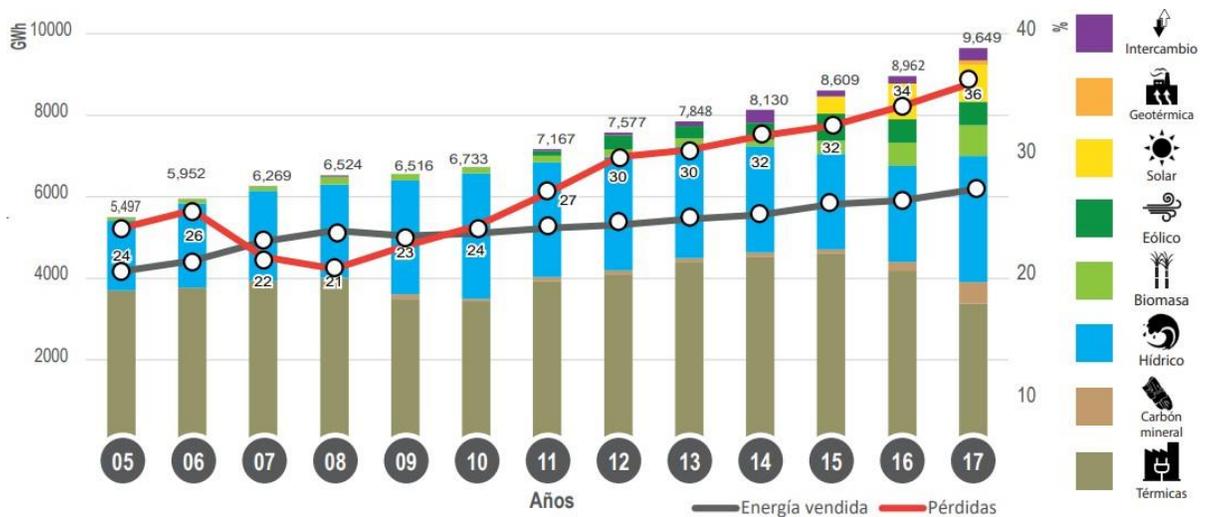


Ilustración 14. Matriz de generación eléctrica, energía vendida y perdidas de los años 2005-2017

Fuente: Balance Energético Nacional (BEN) año 2017.

“Hace cuatro años, al inicio del contrato, las pérdidas eran de 8 mil millones de lempiras anuales, actualmente alcanzan aproximadamente los 12 mil millones de lempiras” (Hernández, 2020, párr. 15)

3.4. LAS ENERGÍAS RENOVABLES COMO SOLUCIÓN A UN SISTEMAS ELÉCTRICO INEFICIENTE

Martínez, (2020) menciona en su participación del 11vo Congreso Nacional de Investigación que, los sistemas energéticos renovables, son una solución para llevar electricidad de calidad a zonas remotas, que estas pueden detonar el desarrollo productivo y aumentar la calidad de vida de las personas que habitan en esos lugares.

Calixtro (2020) nos habla que:

Hay una necesidad global de acceso a la electricidad, que esta sea de buena calidad, que a la vez que se genere con fuentes de energías limpias e implique ahorros significativos para todos. A partir de finales del siglo XX, se ha empezado a retomar el uso de estas

energías renovables en respuesta al avance del calentamiento global, falta de energía eléctrica y para aumentar la calidad de energía eléctrica que se consume. (párr. 3)

“Para lograr procesos de desarrollo es esencial dotar a la población de modernos servicios básicos energéticos, adecuados y fiables, utilizando tecnologías seguras y ecológicamente racionales, de conformidad con las necesidades socioeconómicas y los valores culturales” (Lillo, 2016, p. 12).

En Honduras, los proyectos eléctricos con energía renovables han tenido una gran aceptación, las zonas rurales dependen en gran medida de sistemas aislados de la red, los cuales se desarrollan principalmente usando recursos naturales. “El uso de los sistemas aislados podría reducir la inversión en electrificación rural en Honduras por lo menos en 150 millones de dólares” (Flores, 2015, p. 10). Para hablar detalladamente sobre los sistemas aislados, es necesario tener claro todas sus generalidades, en los siguientes capítulos se hablará sobre ello.

3.4.1. DEFINICIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

Merino, (2014) comenta en su artículo:

Para la Física, la energía es la capacidad potencial que tienen los cuerpos para producir trabajo o calor, y se manifiesta mediante un cambio. Es energía el esfuerzo que hace una persona cuando pedalea sobre una bicicleta. También lo es el movimiento continuo del agua de un río o el calor que desprende el carbón cuando se quema. Desde siempre, el hombre ha utilizado las fuentes de energía a su alcance para hacer un trabajo o para obtener calor. Primero su propia fuerza física o la de los animales domésticos. Luego la energía del viento y del agua. Más tarde llegaría la explotación de los combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo). (p. 2)

En el futuro es probable que puedan aparecer nuevas fuentes de energía, pero, una cosa se tiene clara y es que la energía puede llegar a ser tan esencial como lo es el agua. Entre todas las energías antes mencionadas, las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua e inagotable en la naturaleza, y que no emiten dióxido de carbono, como el viento, el sol o el agua.

3.4.2. TIPOS DE ENERGÍA RENOVABLE

Como se mencionó en la sección 3.4.1, existen varios tipos de energía renovable, estas dependen del recurso natural que se utilice para generar electricidad y se categorizan de distintas formas:

Energía Solar

Cuando nos referimos a la energía solar, debemos entender que lo que realmente usamos es la radiación solar que nos llega a la superficie de la Tierra proveniente del sol, la aprovechamos mediante células fotovoltaicas. "La propia energía solar puede ser fotovoltaica o térmica. La diferencia es que la energía solar fotovoltaica produce electricidad a partir de la radiación solar, mientras que la térmica, consiste en aprovechar la energía solar para producir calor" (BBVA, 2019, párr. 2).

Energía eólica

En esta aprovechamos la velocidad de las grandes corrientes de viento, que provocan movimiento y mueven las palas de un aerogenerador; depende de los cambios de temperatura anuales de la Tierra y de las elevaciones del terreno en el que se encuentre

Energía hidráulica

Jarauta, (2014) menciona en su libro que este tipo de energía aprovecha el movimiento del agua, en los ríos, aprovecha los desniveles, es decir, lo que aprovechamos es la energía del agua, cuando baja de un punto alto a uno bajo. Cuando no se tiene ese tipo de desniveles, se aprovecha el caudal o el movimiento natural del río.

Energía geotérmica

“La tierra emite calor. Es el principio fundamental que sigue esta energía renovable, que aprovecha el calor al interior de la corteza terrestre” (BBVA, 2019, párr. 10). Se produce con el calor interno de la Tierra, que se ha concentrado en el subsuelo en lugares conocidos como reservorios geotermales.

Energía mareomotriz

“Aprovecha el movimiento de las mareas, esta energía renovable es aprovechada por turbinas que mueven un alternador, el cual es responsable de generar electricidad. Este alternador está conectado a su vez a una central mareomotriz en tierra, que es la que se encarga de distribuir la energía” (SVEA SOLAR, 2021, párr. 4).

Energía biomasa

La generación de energía a partir de residuos orgánicos como la madera, aserrín o desechos agrícolas. “Se refiere a la biomasa útil en términos energéticos formales: las plantas transforman la energía radiante del Sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esa energía química queda almacenada en forma de materia orgánica” (Gonzales, 2021, p. 1).

3.4.3. VENTAJAS DE LA ENERGÍA RENOVABLE

Las energías renovables, también conocidas como energías limpias, están desplazando cada vez más a los combustibles fósiles en el sector energético. Y es que estas están llenas de ventajas.

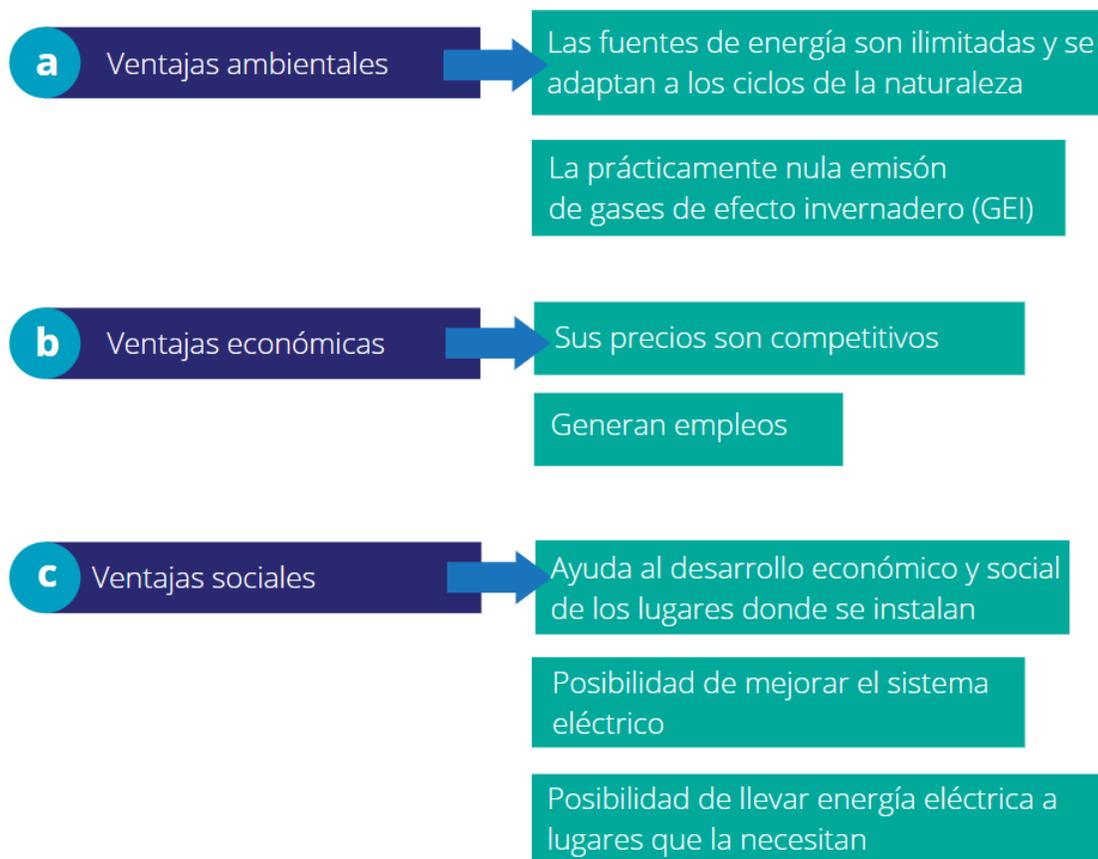


Ilustración 15. Ventajas de la energía renovable

Fuente: (Calixtro, 2020). Elaboración Propia.

3.5. ENERGÍA RENOVABLE OFF-GRID

La electrificación de calidad en zonas rurales y el uso de recursos renovables se ha presentado como una alternativa en la actualidad, considerando el agotamiento, variación de precios de los combustibles fósiles y la calidad de los sistemas de red eléctrica, se deben buscar nuevas alternativas de consumo eléctrico.

Inostroza (2012) en su tesis menciona que:

A nivel sudamericano, se han desarrollado planes y programas de electrificación rural basados en energías renovables. como el Programa Andino de Electrificación Rural en los países del eje andino (Perú, Ecuador y Bolivia) y el Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER) en Argentina, entre otros como Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (p. 14)

En el caso de Honduras, encontramos proyectos como Energizing Development (ENDEV), Proyecto de Infraestructura Rural (PIR-IDECOAS), Programa de Desarrollo Rural Sostenible (PRONADERS).

3.5.1. CONTEXTO GLOBAL

“Las inversiones en energías renovables fuera de la red a nivel mundial, nos deja cada vez más en claro la importancia de estas. Los compromisos financieros anuales para las energías renovables fuera de la red eléctrica pasaron de 250,00 dólares en el año 2007 a 460 millones de dólares en el 2019” (IRENA, 2020, p. 9).

Los inversores privados como La Asociación Internacional de Economía (IEA), Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), United Nations (UN), World Bank Group (WBG), y World Health Organization (WHO), proporcionaron la mayor parte del apoyo financiero de las energías renovables sin conexión a la red, con un 67% en los últimos 13 años (2007-2019) (IRENA, 2020, párr. 4).

A pesar de este gran crecimiento, las inversiones en soluciones de energía renovable fuera de la red son nada más el 1% de las inversiones totales que se dan a nivel mundial para el acceso y calidad de los servicios de energía eléctrica.

IRENA, (2020) afirma en su informe:

Entre 2007 y 2019, las energías renovables sin conexión a la red atrajeron unos 2,000 millones de dólares de inversión de los cuales 734 millones de dólares se dirigieron a países con déficit de acceso a la energía eléctrica, los cuales albergan el 80% de la población mundial, En la actualidad, el mundo no está en vías de lograr el acceso universal a la energía. (p. 15)

Según el Instituto Catalán de Energía (ICAEN), las principales fuentes de energía renovables son la energía hidráulica 6.78%, la energía eólica 1.45%, la biomasa 0.57% y la energía solar 0.43% (Arriols, 2018).

3.5.2. CONTEXTO LATINOAMERICANO

La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), declaró que entre 2010 y 2015 en América Latina se invirtieron más de 80,000 millones de dólares en energías renovables sin conexión a la red (IRENA, 2020).

América Latina se ha convertido en una de las áreas más atractivas del mundo para las energías renovables, por su abundancia de recursos naturales como viento, agua, sol. "Aproximaciones globales han catalogado a América Latina y el Caribe como una de las regiones con mayor diversidad de ecosistemas del mundo" (FAO, 2019, p. 5). Aquí algunos ejemplos:

Se calcula que Brasil podría llegar a los 140,00 MW de energía del viento, seguido de México con 40,000 MW, Colombia con 20,00 MW o como también los países Argentina y Venezuela podrían llegar a producir 10,000 MW (Canseco, 2010).

3.5.3. CONTEXTO HONDUREÑO

“A finales de 2017 se reportaba una inversión de 1,600 millones de dólares en energía solar, 300 millones de dólares por biomasa y 140 millones de dólares en eólicas, a esto se le suma la inauguración de la primera planta geotérmica en Copán” (Prensa, 2018, párr. 2).

La energía renovable está modernizando las comunidades rurales. El Instituto de Desarrollo Comunitario Agua y Saneamiento (IDECOAS), está ejecutando más de 1,000 millones de dólares en el Proyecto de Energía Renovable para el desarrollo Rural Sostenible (Pro-Energía Rural). Actualmente se está invirtiendo 216,634,236.00, de lempiras los cuales 200 millones de lempiras corresponden a fondos externos exactamente del Banco K-Exim de Corea del Sur y 16 millones de lempiras a nacionales, en proyectos de energía solar en comunidades rurales (Hechos, 2018).

Otro proyecto importante es el de dotar de energía fiable y limpia a la pequeña comunidad rural de El Santuario, aislada de la red eléctrica, en el departamento de Choluteca, Honduras. Está financiado por AECID (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo), con aportaciones de otras ONG, la UPV (Universidad Politécnica de Valencia) y las empresas valencianas participantes Genia Global Energy y Monsolar, no hay capital nacional invertido. La Universidad Politécnica de Valencia (UPV) ha diseñado proyectos de energías renovables off grid, que combina solar fotovoltaica y gasificación de biomasa para suministrar energía limpia suficiente para las labores domésticas y agrícolas de los 500 habitantes de la comunidad. El proyecto, que acaba de iniciarse, dejará un sistema eléctrico plenamente operativo en El Santuario a comienzos de 2022 y servirá como ejemplo para su replicación y escalabilidad en otras comunidades rurales aisladas (Bioenergy, 2021).

3.6. TEORÍAS DE SUSTENTO

Para interiorizar los proyectos de generación de energía hidráulica, es necesario conocer el contexto internacional y nacional del mismo, tanto como las características generales sobre este tipo de energía renovable, así mismo el funcionamiento, proyectos desarrollados y clasificación de esta tecnología.

3.7. ENERGÍA HIDRÁULICA AMÉRICA LATINA Y GLOBAL

Para el año 2020 las hidroeléctricas suministraron una sexta parte de la generación de electricidad mundial. Esto la convierte en la fuente más grande de energía renovable. Su producción ha aumentado un 70% en las últimas dos décadas. Se espera que el impulso de las hidroeléctricas continúe y aumente la capacidad un 17% entre el 2021 y el 2030 liderado por China, India, Turquía y Etiopía (GridsInfo, 2021).

“El informe especial de La Agencia Internacional de Energía (IEA) precisa que aproximadamente la mitad del potencial económicamente viable de las hidroeléctricas a nivel global está sin explotar. Este potencial es particularmente alto en las economías emergentes y en desarrollo, donde alcanza casi el 60%” (León, 2021, párr. 11).

Avatar (2018) afirma que:

América Latina y el Caribe tiene una población de 630 millones, menos de una décima parte de la población mundial, y la región contiene más de un tercio del suministro mundial de agua dulce. Lo que se traduce en una disponibilidad per cápita de 23,000 metros cúbicos al año, 300% más que el promedio mundial. El 70% de la electricidad que consumen proviene de la generación hidroeléctrica, más que cualquier otra región del mundo. (párr. 24)

3.8. ENERGÍA HIDRÁULICA EN HONDURAS

“En Honduras, La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) calcula que hay un potencial hidráulico teórico de 5,000MW, contra el 14% que apenas esta explotado” (Romero, 2017, p. 1)

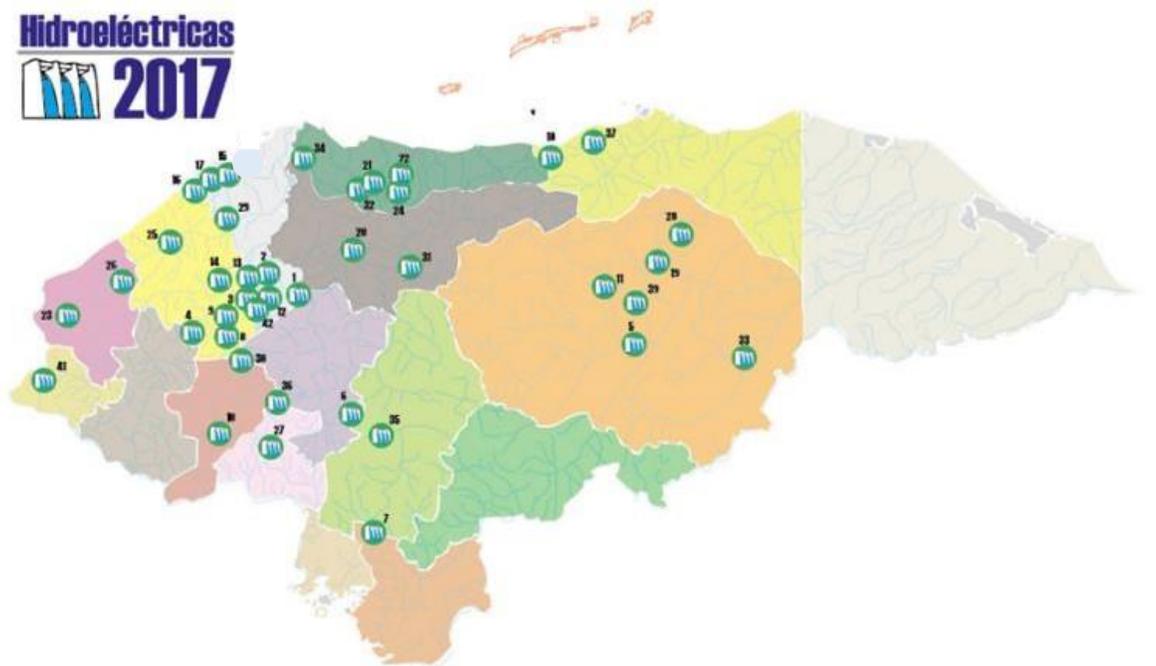
Bertrand & Álvarez, (2019) mencionan en su investigación que:

De 18 departamentos solo 11 de ellos tienen hidroeléctricas. En el departamento de Cortés es donde opera la mayor cantidad de hidroeléctricas, con 10 proyectos que generan en conjunto un total de 439.56 MW de 675.80 MW instalados en todo el país. Obteniendo 65% de toda la potencia instalada en Honduras. (p. 64)

En la ilustración 14, se puede observar la distribución y cantidad de las plantas hidroeléctricas que operan en Honduras; en la ilustración 12, se observó la gran generación de energía hidráulica con la que cuenta Honduras.

En Honduras, la generación de energía limpia proviene de la producción de energía renovable de las empresas privadas como Lufussa, Solar Power Generation Central America, Globeleq Mesoamérica, con un promedio del 32%, la producción de energía hidráulica por parte de la ENEE representa un 19%, entretanto, la generación térmica privada representa el 40.81% (Patria, 2017). Dejando claro que para Honduras hay un largo camino por recorrer con respecto a las energías limpias.

Hidroeléctricas 2017



1- Francisco Morazán	11- Babilonia	21- Río Mangungo	31- La Vegona	41- Quillio
2- Río Lindo	12- Yojoa	22- San Juan	32- Ulua ó Matarras	42- Agua Verde
3- Cañaveral	13- Río Blanco	23- El Cisne	33- Guineo	
4- El Nispero	14- Río Cececapa	24- Los Laureles	34- Mezapa	
5- Santa María del Real	15- Cuyamel	25- Chamelecón	35- Zinguizapa	
6- El Coyolar	16- Cortecito	26- Morja	36- Sazagua Puringla	
7- Nacaome	17- San Carlos	27- Aurora	37- Río Bertulíua	
8- Zacapa	18- La Gloria	28- San Martín	38- Cangel	
9- La Nieve	19- Coronado	29- Peña Blanca	39- Río Ojo de Agua	
10- La Esperanza	20- Cuyamapa	30- Los Laureles	40- Xacbal (Guatemala)	

Ilustración 16. Distribución de las hidroeléctricas de Honduras año 2017

Fuente: Revista de la escuela de física, UNAH.

3.9. FUNCIONAMIENTO DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

“La energía hidráulica es el aprovechamiento de la energía cinética de una masa de agua. El agua mueve una turbina cuyo movimiento de rotación se transfiere, mediante un eje, a un generador de electricidad. Hasta mediados del siglo XX la energía hidráulica fue la principal fuente para la producción eléctrica a gran escala” (Prieto, 2009, párr. 1).

3.9.1. CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS SEGÚN LA CAPACIDAD INSTALADA

Clasificación de las centrales hidroeléctricas ya sean grandes o pequeñas, esta categorización puede variar, según el país u organización, aclarado esto, en la tabla 2, se nos muestra la clasificación según la OLADE y en la tabla 3, según ENEE.

Tabla 2. Clasificación de hidroeléctricas según la capacidad instalada por OLADE

Clasificación	Rango según OLADE
Picocentrales	Hasta 5kW
Microcentrales	5kW - 50kW
Minicentrales	50Kw - 500kW
Pequeñas centrales	500kW - 5MW
Medianas centrales	5MW - 50MW
Grandes centrales	Mayores a 50MW

Fuente: Revista informador técnico, 2011.

Categorización de las centrales hidroeléctricas en Honduras y cuantas se poseen, según ENEE:

Tabla 3. Clasificación de las hidroeléctricas según la capacidad instalada por ENEE

Clasificación	Rango según ENEE	Honduras posee
Picocentrales	Hasta 10kW	0
Microcentrales	10 - 100 kW	0
Minicentrales	100kW - 1MW	5
Pequeñas centrales	1MW - 10MW	27
Medianas centrales	10MW - 100MW	8
Grandes centrales	Mayores a 100MW	1

Fuente: Revista de la escuela de Física, UNAH.

3.9.2. CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS SEGÚN EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA

Wagner (2011) describe en su libro las siguientes centrales;

- Centrales de regulación: las centrales hidroeléctricas del río pueden trabajar a través de una represa y sin un flujo, En este punto el río fluye directamente a la turbina sin ser bloqueado.
- Centrales de embalse: en este caso las centrales hidroeléctricas del río tienen una represa, ya que el agua puede ser almacenada en un tanque pequeño o grande, hay dos razones diferentes por las que el agua debe ser almacenada; para obtener una profundidad específica del agua o tener reservas de agua.
- Centrales de agua fluyente: son centrales hidroeléctricas que carecen de una represa, ya que la producción de estas es menor, no se necesitan grandes cantidades de agua, basta con tener un canal que desvíe parte del caudal del río para que mueva la turbina y active el generador, para que estas funcionen; a este tipo de central hidroeléctrica se les conoce como filo de agua.
- Centrales de bombeo: su principal función es satisfacer la demanda de energía en horas pico, y almacenar energía en horas valle, bombean el agua a un embalse superior casi siempre un depósito grande, para así almacenar esa energía potencial del agua y usarla cuando se necesite cubrir la demanda máxima de energía eléctrica de la misma represa, convirtiéndola en una batería gigante con la diferencia de que esta almacena agua en forma de energía potencial (Vásquez, 2015).

3.9.3. CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS SEGÚN SU ALTURA DE CAÍDA DEL AGUA



Ilustración 17. Clasificación de las centrales hidroeléctricas según altura de caída de agua

Fuente: Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Elaboración propia.

3.9.4. CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS HIDRÁULICAS

“Las turbinas hidráulicas son máquinas destinadas a transformar la energía potencial de una corriente de agua. Toda turbina convierte la energía del agua, a energía cinética por el trabajo mecánico existente. La energía potencial del agua se convierte en energía cinética al pasar sucesivamente por la turbina. En consecuencia, se provocan cambios en la dirección de la velocidad del fluido, generándose energía mecánica” (Flores, 2016, p. 43).

Turbinas de acción

Son aquellas que aprovechan únicamente la velocidad del flujo de agua para hacerlas girar, básicamente sin sufrir ningún cambio de presión o donde los saltos de altura resultan de escasa importancia o son de baja presión (Espinoza, 2021). Tal como se describen en la sección

3.9.3. En esta categoría están:

- a** Turbina Pelton
- b** Turbina Banki
- c** Turbina Turgo

Ilustración 18. Turbinas de acción

Fuente: Escuela Universitaria Politécnica. Elaboración propia.

Turbinas de reacción

Tipos de turbinas que se caracterizan por accionarse mediante la presión que el líquido ejerce, a diferencia con las de acción, en este tipo de turbinas las caídas de agua o altura del fluido, si influye por el cambio de presión que se sufre, hablamos de media presión y alta presión (Espinoza, 2021). Descritas en la sección 3.9.3. "Las turbinas de reacción trabajan completamente sumergidas en el agua" (Brusa, 2010, Capítulo 2.2). Dentro de esta categoría se encuentran:

- a** Turbina Francis
- b** Turbina Kaplan
- c** Turbina Hélice
- d** Turbina Dériaz
- e** Turbina Bulbo
- f** Turbina Straflo

Ilustración 19. Turbinas de reacción

Fuente: Escuela Universitaria Politécnica. Elaboración propia.

3.10. FALLOS ELÉCTRICOS MÁS COMUNES EN LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Las centrales hidroeléctricas permiten un elevado nivel de eficiencia energética, pueden alcanzar niveles hasta del 90% (MITECO, 2020). Se han registrado una cantidad de accidentes que suceden en centrales hidroeléctricas, en esta sección se expondrán algunos de ellos y como disminuirlos. En la ilustración 18, se grafican diferentes causas de fallos en los sistemas de las centrales hidroeléctricas; se estudiaron 250 casos, entre los años 1965 a 2012.

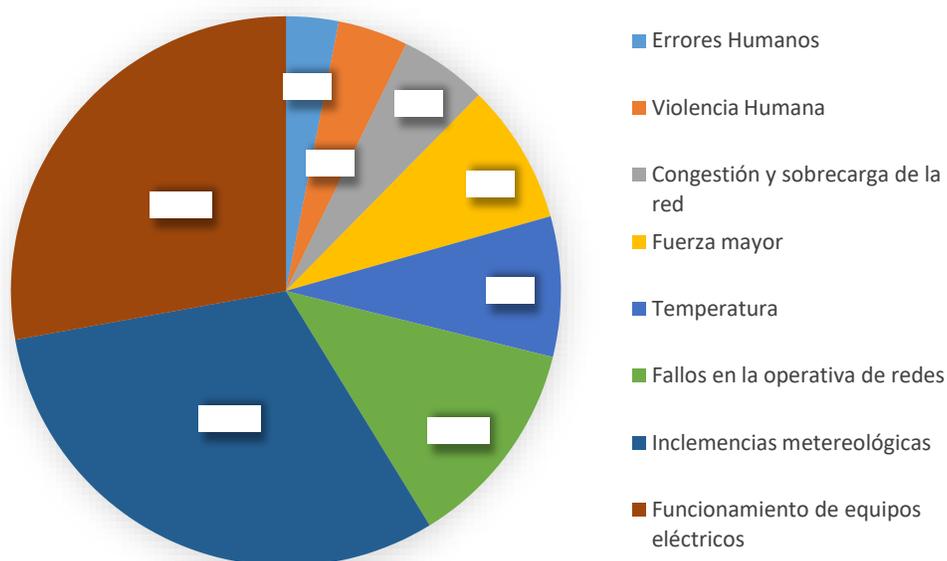


Ilustración 20. Causas de fallos en el suministro eléctrico de centrales hidroeléctricas

Fuente: Petra Rychtarcikova.

El 30% de los fallos fueron causados por inclemencias meteorológicas, las cuales están fuera del control humano, como tormentas, tornados, fuertes vientos, huracanes, ya que estas provocan destrucción de líneas de suministro. El segundo porcentaje más alto es el funcionamiento de equipos eléctricos, los cuales se pueden disminuir con un mantenimiento adecuado, prolongando la vida de los equipos en la central y contribuyendo a la eficiencia del suministro eléctrico, el 12% de los fallos suceden en la operativa de las redes, como relés de protección mal ajustados, líneas transmisión en mal estado (Rychtarcikova, 2016).

3.11. PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Desde la década de 1980 los proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas se han expandido por todo el mundo.

(Fajardo & Sierra (2011) describen en su informe:

Las pequeñas centrales hidroeléctricas PCH empezaron su expansión a principios del siglo XX, caracterizándose por ser tecnologías sencillas, haciéndolas soluciones viables para pequeñas poblaciones no interconectadas con condiciones de topografía, pluviometría e hidrológica convenientes. Las pequeñas centrales hidroeléctricas, son sistemas de generación con capacidad hasta de 10MW que, sin necesidad de represas, abastecen pequeños asentamientos humanos. (p. 75)

En la siguiente sección, se habla sobre proyectos de PCH en Honduras.

3.11.1. PROYECTOS DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN HONDURAS

Lepaera

Pereira (2019) habla en su informe:

Una pequeña central hidroeléctrica aislada de la red interconectada. La PCH Río Claro está ubicada en la comunidad de Las Dantas, en el municipio de Lepaera, departamento de Lempira. Con una potencia instalada de 100 kW, provee electricidad a 153 viviendas de 3 comunidades: Los Chiles, Las Dantas y Playitas. La PCH comenzó a operar en diciembre del 2018. En asamblea comunitaria, las comunidades decidieron organizarse y se formó la Cooperativa Mixta de Servicios de Energía Eléctrica Río Claro Limitada (COMISERICLAL) cuya junta directiva está integrada por representantes de las tres comunidades para que actuara como la entidad gestora del proyecto. Durante más de una década, el desarrollo

del proyecto estuvo detenido debido a la falta de financiamiento. En el 2016, tras gestiones de la comunidad, EnDev Honduras se comprometió a brindar asistencia técnica para concluir el proyecto. De este modo, coordinó con todos los actores involucrados en la construcción de la obra gris, y organizó tanto el traslado del equipo electromecánico que estuvo resguardado por la ENEE desde su compra como la adquisición de los materiales necesarios. (p. 32)

Camagüey

Una PCH ubicada sobre el río Alao provee acceso a energía a 34 viviendas, lo que beneficia a 173 personas y 3 instituciones sociales de la comunidad de Camagüey, en el municipio de Tela, departamento de Atlántida. Tiene una potencia instalada de 15 kW y cuenta con una turbina tipo Pelton. Mediante una serie de gestiones, la comunidad recaudó el financiamiento para desarrollar el proyecto gracias a los aportes de las ONG, la municipalidad, la cooperación internacional, la parroquia del municipio de Arizona y diputados del Congreso Nacional de Honduras, así como de la propia contraparte comunitaria. La comunidad se organizó y fundó la Empresa de Servicios Múltiples Camagüey Limitada (ESERMUCAL) para que fuera responsable de la ejecución del proyecto. (Pereira, 2019, p. 35)

Plan Grande

Maradiaga (2019) afirma en su informe:

En 2004, la comunidad logró tener, por primera vez, tres horas de electricidad al día gracias a un generador alimentado con diésel. Durante siete años fue así, hasta que en 2010 el presidente del patronato o líder de la comunidad recibió una invitación de la Cooperación

Española en Tegucigalpa, capital de Honduras, para hablar de una propuesta de financiamiento que fortalecería el proyecto de electrificación. Hoy, el 100% de la electricidad que consume la comunidad de Plan Grande es a base de agua generada por una pequeña hidroeléctrica instalada en el río Matías que, al utilizar la técnica “a filo de agua”, no interviene el curso del río. Al contrario de los grandes proyectos hidroeléctricos que han provocado graves crisis sociales y ambientales en Honduras, la represa de Plan Grande ha unido a la comunidad y es un ejemplo de generación de energía sustentable.

(párrs. 8 y 10)

IV. METODOLOGÍA

La metodología toma en cuenta el diseño que el investigador propone para obtener resultados de su investigación. Dentro de la metodología, para ayudar a diseñar sistemáticamente el desarrollo, encontramos; el enfoque, las variables de la investigación, así mismo las técnicas e instrumentos aplicados.

4.1. ENFOQUE

Para el desarrollo de esta investigación, tomando en cuenta que, por ser un proyecto de factibilidad, se debe tener presente el uso de estadísticas, recolección de datos, con un proceso secuencial, deductivo y probatorio, el enfoque que se determinó es el enfoque cuantitativo.

Roberto Sampieri, menciona en su libro que "el enfoque cuantitativo representa, un conjunto de procesos es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos eludir pasos. Se determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones" (Sampieri, 2014, p. 4).



Ilustración 21. Esquema metodológico de la investigación

Fuente: Metodología de investigación. Elaboración propia.

La clasificación definida es el diseño no experimental transversales, se caracterizan por la recolección de datos en un único momento y trabajar con grupos o subgrupos de personas de personas. Se definió un alcance exploratorio ya que, se espera que esta investigación ayude a futuros estudios relacionados con el tópico. Por ser una investigación con un alcance exploratorio no se establecen hipótesis (Sampieri, 2014).

La investigación trata de analizar la factibilidad de una PCH para la colonia Suyapa, en el departamento de Santa Bárbara, municipio de Santa Bárbara, mediante datos recolectados, como los consumos eléctricos de los habitantes en la colonia, para poder reforzar la metodología propuesta, así mismo, necesitaremos datos de caudales, puntos máximos y mínimos de la fuente de energía renovable que utilicemos, con el fin de comprobar mediante análisis técnico y económico, con ayuda de parámetros financieros, la factibilidad de este proyecto de investigación.

4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

“Las variables son propiedades específicas del objeto de estudio en una investigación. Están directamente relacionadas con el objetivo y es lo que se intentará medir o analizar” (TFG, 2020, párr. 2). Se debe asegurar que estas variables puedan ser medidas, evaluadas y observadas, las variables pueden ser todas aquellas propiedades o características que vamos a observar, medir, analizar y calcular. (Sampieri, 2014)

4.2.1. VARIABLES DEPENDIENTES

Las variables dependientes propuestas están en función al caso de estudio, la factibilidad técnica y económica de una PCH. Estas variables influyen directamente en las conclusiones o rumbo de la investigación. En la ilustración 19, podemos observar las variables dependientes de la investigación.

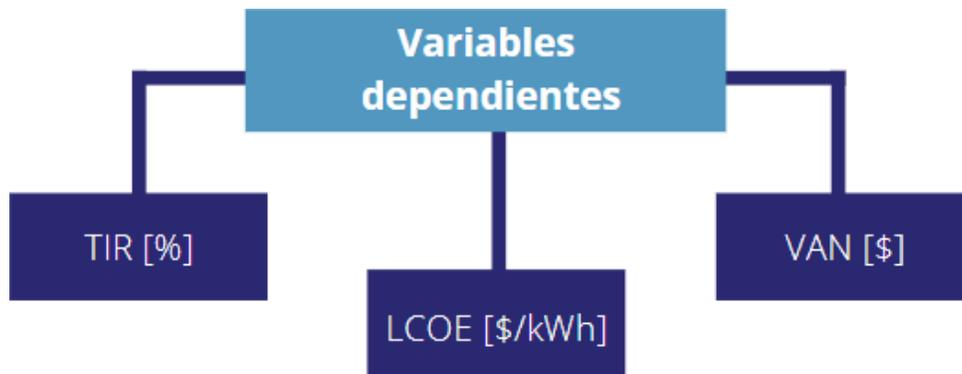


Ilustración 22. Variables dependientes de la investigación

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

Este tipo de variables no están fijas, ya que estos cambios dirigen el rumbo de las variables dependientes, ya que influyen directamente en ellas. En las ilustraciones 20, se describen las variables independientes de la investigación



Ilustración 23. Variables independientes de la investigación

Fuente: Elaboración propia.

4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

En este capítulo, se enumeran los instrumentos utilizados para el desarrollo de la investigación y expone por qué se decidió utilizarlo.

4.3.1. INSTRUMENTOS APLICADOS

Microsoft Excel

Excel, es un programa informático desarrollado por Microsoft Corp. Dicho software facilita las tareas contables y financieras, por su interfaz con hojas para ingresar datos por celdas individuales que facilita el proceso de tabulación, así mismo, dentro de la plataforma se pueden crear gráficos con los datos recopilados en sus hojas de cálculos.

RETScreen Expert

Utiliza algoritmos avanzados para simplificar la toma de decisiones en torno a proyectos de energía, incluida la energía renovable, la eficiencia energética y la cogeneración. Analiza eficiencia de diferentes tecnologías renovables en determinados escenarios. Combina una serie de bases de datos, incluidos los datos climáticos globales de los satélites de la NASA, el software ayuda a determinar si un proyecto de energía propuesto tiene sentido financiero.

Google Earth Pro

Es una herramienta de búsqueda de ubicaciones que permite geolocalizar un punto concreto, calcular rutas, así como también el ubicar coordenadas del área de un proyecto, realiza un estudio del terreno y se puede obtener una vista satelital o en 2D del mismo.

4.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

4.4.1. LA COLONIA SUYAPA, DEPARTAMENTO DE SANTA BÁRBARA, MUNICIPIO DE SANTA BÁRBARA.

La colonia fue poblada y constituida en 1930 a 1940. Una de las inquietudes de la población fue poder abrir el acceso a los sectores conocidos de la colonia como: Bajada los Robles, El Brasilito, Callejón, Los Milagros, para que pudieran transitar vehículos y llegara el desarrollo a la pequeña

colonia. En el año 2000 la colonia forma su primer patronato, para poder llevar agua potable a la colonia. Los cultivos más comunes entre sus habitantes son el frijol y maíz. En la colonia se reporta un crecimiento poblacional anual de 1.1% (Calix, 2019).

El patronato actual está conformado por:

- Presidente: Rogelio Sagastume
- Vicepresidente: Lenin Saldívar
- Fiscal: Lili Luna
- Secretario: Gioser Casaña
- Vocal 1: Roger Lara

Ubicación geográfica:

- Al norte: Gualjoco
- Al sur: Altos de Galeras
- Al este: Colonia las Linas
- Al oeste: La unión de los ríos Ulúa y Jicatuyo

4.4.2. POBLACIÓN

La población o universo es la totalidad de los elementos a estudiar, en este caso hablamos de una población finita, ya que serán los hogares localizados en la colonia Suyapa, del departamento de Santa Bárbara, en el municipio de Santa Bárbara.

El censo realizado por el patronato de la colonia Suyapa, en el año 2019 se reportaron 128 hogares, en ellos se suma un total de 538 personas, dividido en; 192 hombres, 153 mujeres, 151 niños y 42 personas de la tercera edad, se calcula un promedio de cuatro personas por familia. Todos estos hogares se encuentran subdivididos en cuatro sectores que se encuentran dentro de la colonia, según el reporte del patronato, se clasifican como se ilustra en la tabla 4.

Tabla 4. Censo poblacional de la Colonia Suyapa dividido por sectores del año 2020

Familias censadas año 2019						
Sector	Número de hogares	Número de hombres	Número de mujeres	Número de niños	Numero de tercera edad	Total de personas
Bajada los Robles	50	67	45	55	9	176
El Brasilito	12	19	13	18	6	56
Callejón	30	45	42	38	12	137
Los Milagros	36	61	53	40	15	169
TOTAL	128	192	153	151	42	538

Fuente: Datos del Censo poblacional realizado por Roger Lara miembro del patronato. Elaboración propia.

4.4.3. MUESTRA

La muestra es un grupo pequeño que se toma de la población, con el fin de ser evaluado y así promediar las respuestas que la población puede darnos. En este caso la muestra es probabilística, ya que todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser escogidos para la muestra. Dependiendo del tipo de población que se fije para la investigación, se define la fórmula. Para efectos de esta investigación, se eligió una población finita, para este tipo se utiliza la ecuación 1.

$$n = \frac{N \times z^2 \times p \times q}{e^2 \times (N - 1) + z^2 \times p \times q}$$

Ecuación 1. Fórmula para calcular la muestra de una población finita

Fuente: Elementos de muestreo, sexta edición.

Donde se encuentran los siguientes parámetros:

- n: Tamaño de la muestra buscado
- N: Tamaño de la población o universo
- z: Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza (NC)
- e: Error de estimación máximo aceptado
- p: Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

- q: Probabilidad de que no ocurra el evento deseado (1-p)

$$n = \frac{128 \times (1.96)^2 \times 0.5 \times 0.5}{(0.3)^2 \times (128 - 1) + (1.96)^2 \times 0.5 \times 0.5}$$

$$n = \frac{122.93}{2.94}$$

$$n = 41.81 = 42$$

La muestra calculada será de 42 hogares de la colonia Suyapa. Con esos 42 hogares se promediará la demanda de potencia por hogar en la colonia.

4.5. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Este apartado tratará de explicar el camino a seguir para el cálculo de datos deseados. En él se encontrarán técnicas, herramientas, actividades y materiales que ayudarán a dar solución a los objetivos de esta investigación, el orden se observa en la ilustración 21.

- a** Determinar el consumo promedio energía eléctrica
- b** Dimensionar la pequeña central hidroeléctrica
- c** Determinar la producción de energía eléctrica de la PCH
- d** Calcular los costos que conlleva la instalación de la PCH
- e** Calcular el LCOE del proyecto
- f** Calcular el VAN y la TIR
- g** Categorizar el impacto ambiental de la PCH

Ilustración 24. Metodología a seguir para el análisis

Fuente: Elaboración propia.

4.5.1. DEMANDA ELÉCTRICA

El método Nosaki, asume la cantidad de potencia que se necesita dependiendo del número de personas que van a consumir del servicio generado en la zona estudiada. Para realizar dicho método, se necesita la tabla 5, primero se ubica el rango de habitantes que posee la zona; definido este parámetro, con la ecuación 2, podemos conocer la demanda de potencia propuesta por el método. Se calculará la demanda de la colonia Suyapa con el método Nosaki (Vilar, 2010).

Tabla 5. Demanda propuesta para distintas poblaciones por el método de Nosaki

Número de habitantes	Demanda de potencia [kW]
500 a 1,000	15-35
1,000 a 2,000	35-80
2,000 a 4,000	80-180
4,000 a 10,000	180-500
10,000 a 20,000	500-1,200

Fuente: Manual para el diseño e instalación de una micro central hidroeléctrica.

Se reportaron 538 personas que residen actualmente en la colonia, como se observa en la tabla 4. Lo cual hace que se ubique en el primer nivel de la tabla 5. Una vez definido esto, sigue el promediar la demanda de potencia propuesta por el método, con la ayuda de la ecuación 2.

$$Demanda\ actual = \frac{Suma\ de\ las\ demandas\ propuestos\ por\ el\ método\ [kW]}{2.94}$$

Ecuación 2. Cálculo de demanda de potencia propuesta por el método Nosaki

Fuente: Manual para el diseño e instalación de una micro central hidroeléctrica.

$$Demanda\ actual = \frac{(15 + 35)}{2}$$

$$Demanda\ actual = 25\ kW$$

Según el método Nosaki, la demanda de potencia mensual de la colonia es de 25 kW.

El problema analizado con el método Nosaki, es que, los rangos con respecto a la cantidad de personas son muy variantes. Por esto, se propone que para tener un cálculo más preciso de la demanda de potencia de la colonia, se lleve a cabo una encuesta. Se aplicará a la muestra calculada en el apartado 4.4.3. Los datos se tabularán y se calculará la demanda de potencia promedio por hogar en la colonia Suyapa. Con dicha encuesta crearemos un perfil de carga por equipamiento en el sector doméstico, como se ilustra en la tabla 6 y se calculará un promedio de la demanda de potencia de los hogares en la colonia.

Tabla 6. Perfil de carga por equipamiento doméstico

PROMEDIO DE DEMANDA							
Aparato eléctrico	Cantidad	Potencia	Factor de Carga	Potencia Inst	Horas de uso	Consumo al día [Wh]	Consumo al día [kWh]
SALA							
COCINA							
CUARTOS							
PARTE DE AFUERA							

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2. CÁLCULO DE CAUDAL

Para la medición del caudal se requiere recopilar información, realizar mediciones, cuantificar y tabular valores; ya que las variaciones del caudal se ven afectadas por diferentes factores, como el área de la cuenca, condiciones climatológicas, y topografía.

La fuente de agua seleccionada para el desarrollo de la investigación fue el río Ulúa. Se selecciono dicho río ya que de todos los ríos y riachuelos que se encuentran cerca de la colonia Suyapa, este es el único que colinda directamente con el sitio al oeste; el río Ulúa, es el tercer río más grande de Honduras, después del río Coco y Patuca. La cuenca hidrográfica del río Ulúa recibe más de

4,000 mm de lluvia al año; a lo largo de la costa del río, el clima es tropical con una temperatura promedio entre junio y agosto del aire de 27 Celsius y una temperatura promedio entre enero y marzo del aire de 24 Celsius (Diario, 2019). Una desventaja encontrada en este río es el exceso de sedimentos que arrastra, así que será una variable para considerar al momento del diseño de la PCH.

Para el cálculo del caudal, los métodos más utilizados según La Organización Meteorológica Mundial son:

1. Método volumétrico
2. Medidor Parshall
3. Método de vertederos y orificios
4. Método de sección-velocidad, calculando la velocidad con:
 - Flotador

Para efectos del proyecto, se cuenta con la información de caudales, puntos máximos y mínimos alcanzados por el río, a diario, por meses al año. Dichos datos fueron proporcionados por La Comisión Permanente de Contingencias Honduras (COPECO). Esta organización se ve obligada a hacer un monitoreo permanente del río, por los grandes volúmenes de agua que en este se encuentran. Los datos fueron recopilados de la central más cercana a la colonia Suyapa, la central de Chinda, Santa Bárbara.

A pesar de contar con los datos, se propone el cálculo de caudal con el método de sección-velocidad, para asegurarse que los datos proporcionados, se mantienen en el sector donde se propone la instalación de la PCH. Se seleccionó dicho método, porque el método volumétrico, es recomendado para ríos o nacimientos de agua, y no se necesita una estructura previa o materiales sofisticados, mientras que para el resto de los métodos; el método Parshall y el método de vertederos y orificios, se necesita una construcción previa. En conclusión, el método factible es el sección-velocidad.

Dicho método consiste en determinar un área de longitud a la orilla del río y dejar correr un objeto capaz de flotar, un corcho o pedazo de madera; mientras checamos el tiempo que este tarda en

recorrer dicha área estipulada; se repite el procedimiento varias veces y se calcula un promedio de caudales, basados en la ecuación 3.

$$Q = A \times V$$

Ecuación 3. Cálculo de caudal método sección-velocidad

Fuente: Manual de medición de caudales. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC).

Donde las variables involucradas son:

- Q= Caudal del agua, en [m³/s]
- A= Área de la sección transversal, en [m²]
- V= Velocidad media del agua, en [m/s]

Según datos entregados por COPECO, de la central de Chinda Santa Bárbara, el caudal promedio del año 2015 en el río Ulúa fue de 12.49 m³/s, recopilado por Génesis Rivera, Clase de Proyecto fase 1, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras.

4.5.3. CAUDAL AMBIENTAL

Según la declaración de Brisbane realizada en el año 2007, el caudal ambiental es el flujo de agua, el momento de la aplicación de la tecnología y la calidad de las aguas, para mantener los ecosistemas de agua dulce, así como los medios de subsistencia y bienestar de las personas que dependen del ecosistema (SEIA, 2007).

Es necesario identificar y cuantificar el recurso con el que se dispone, ya que respetar el caudal ambiental de un río en un proyecto hidráulico es de suma importancia, el caudal ambiental mínimo es del 10% del promedio mensual del caudal del río, según la Ley de incentivos de energía renovables y la SERNA. Se recalca que el proyecto de investigación actual es un sistema a filo de agua, por lo que el agua tomada que pasa por la turbina regresara a su cauce natural en mejores condiciones, gracias al proceso transcurrido, ya que se mejoran los niveles de oxigenación.

Para la selección del caudal, se propone respetar el 60% del caudal ambiental del peor escenario mensual de los caudales recopilados, para el río Ulúa.

En la ilustración 23, se observan los promedios mensuales de precipitaciones de la colonia Suyapa.

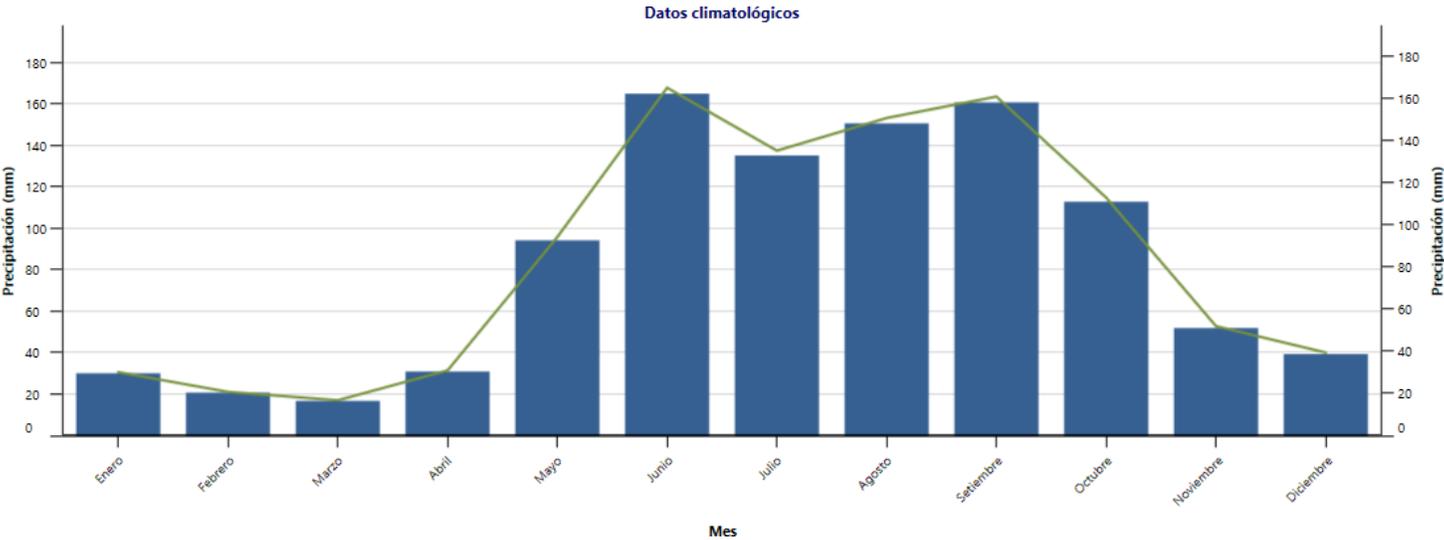


Ilustración 25. Precipitaciones mensuales en la colonia Suyapa

Fuente: RETscreen.

4.5.4. SALTO DE AGUA

El tercer parámetro para considerar es la medición de altura o salto geodésico. Este es la elevación a la que se encuentra nuestro caudal de agua, hasta el punto de descarga de éste, ya que este factor es el que nos determina la energía potencial o fuerza con la que desciende el agua. Para obtener este salto o caída de agua se tienen identificados varios métodos, se observan en la ilustración 24, se concluirá cuál es el mejor método para el caso de estudio en el que se enfoca la investigación.



Ilustración 26. Métodos para la medición del salto de agua o geodésico

Fuente: V. Vásquez. Tesis: Estudio y diseño de un sistema micro hidroeléctrico.

El método viable identificado, fue el método mapa con curvas de nivel, ya que este método es utilizado para proyectos de factibilidad y en su mayoría para la construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas. Mientras que los otros métodos estudiados requieren de grandes equipos especializados y con un precio elevado de 150 a 400 dólares, también algunos de estos métodos necesitan una de construcción y evaluación del terreno previa, es por eso por lo que se descartaron (Vásquez, 2015).

Para el método elegido, necesitamos el programa Google Earth Pro, expuesto en la sección 4.3.1. Se procederá a identificar la fuente hidrográfica y se dibujará la ruta exacta en donde se pretende trabajar, tomando en cuenta el área más cercana a la zona que se quiere beneficiar. En la ilustración 25, se muestra un ejemplo, la ruta tiene una distancia de 1.1 km en total. El salto neto será de 4m. En las ilustraciones 26 y 27, se muestran los puntos más altos y bajos.



Ilustración 27. Ruta más cercana de la cuenca hidrográfica a la zona estudiada

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 28. Mapa de elevación, punto bajo para la casa de máquinas

Fuente: Elaboración propia.

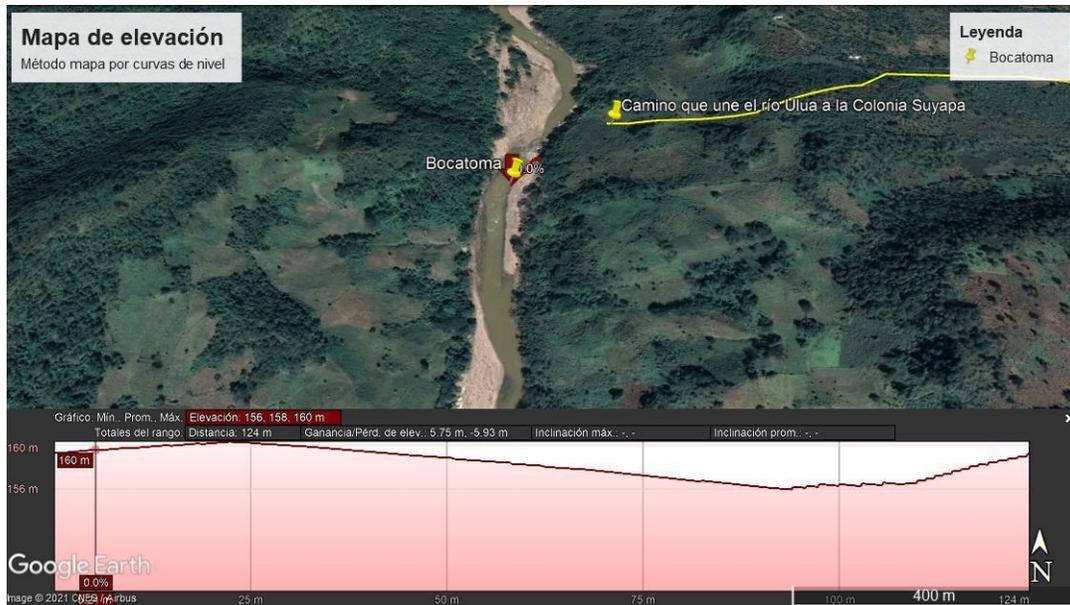


Ilustración 29. Mapa de elevación, punto más alto para la bocatoma

Fuente: Elaboración propia.

4.5.1. SELECCIÓN DE TURBINA HIDRÁULICA

La turbina hidráulica es uno de los elementos principales de una central hidroeléctrica. Como se explicó en la sección 3.9, estas dependen del salto de agua y el caudal que se obtenga del lugar donde se ubica el proyecto, es el elemento que produce la transformación de la energía. Y existen dos tipos de éstas como se menciona en la sección 3.9.4. Se describirán las especificaciones de cada una en la tabla 7, para poder escoger la que mejor se adapte a los cálculos realizados de caudal sección 4.5.2, y salto de agua sección 4.5.3. Así mismo en la ilustración 28, se presenta la gráfica propuesta para la elección de la turbina correcta, dependiendo de la variable caudal en el eje x y la variable altura en el eje y. Analizaremos las variables con nuestros valores ya calculados en las secciones mencionadas anteriormente.

Tabla 7. Especificaciones de las turbinas hidráulicas

Turbina	Caída de agua [m]	Caudal [m³/s]	Rendimiento [%]	Observación
Turbina Pelton	20-200	0.5-100	92	Una de las turbinas más utilizadas en pequeñas centrales
Turbina Banki	5-100	20-200	70	Exclusivamente para centrales de potencia pequeña
Turbina Francis	8-400	2-200	90	Dicha turbina aprovecha toda la caída disponible
Turbina Kaplan	2-400	2-300	93	Las caídas son muy bajas, pero se puede usar para grandes caudales

Fuente: Estudio preliminar para la instalación de una MCH. Elaboración propia.

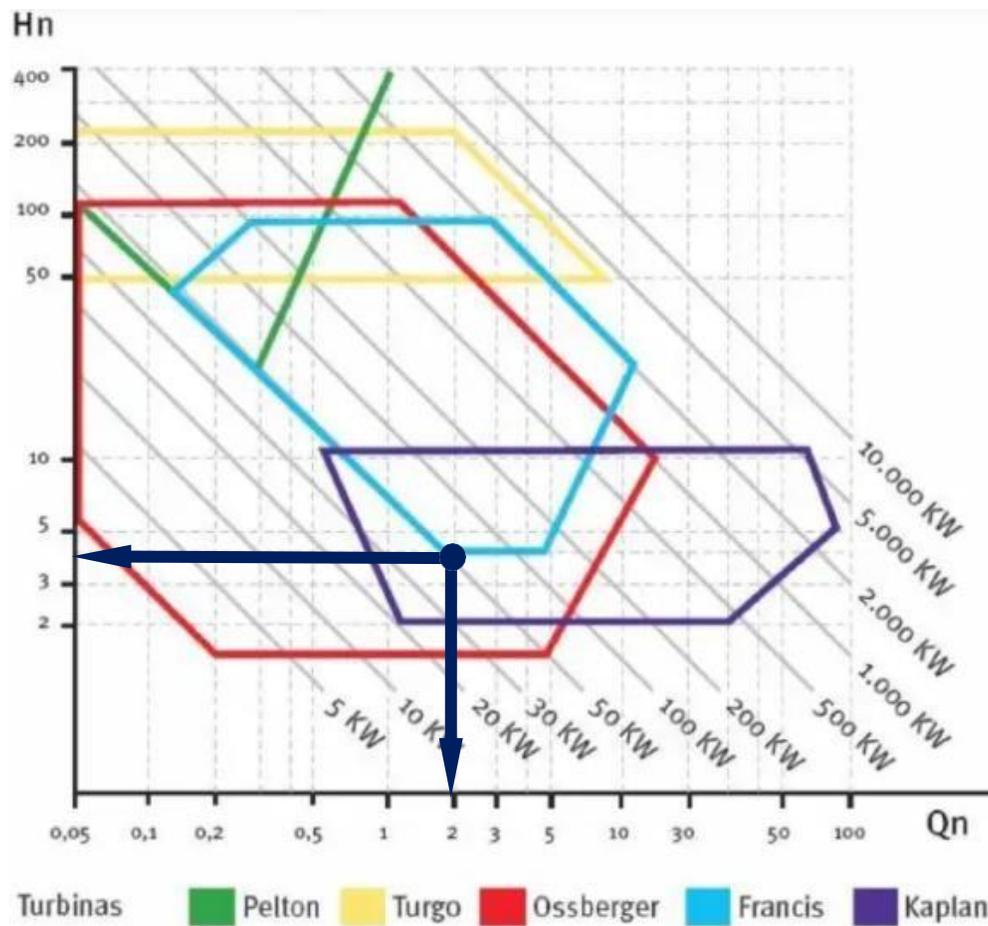


Ilustración 30. Gráfico de selección de turbina Q[m³/s] vs H[m]

Fuente: Descripción básica de los elementos de las centrales hidroeléctricas.

4.5.2. GENERACIÓN DE LA PCH

La generación de la PCH nos dará el parámetro para definir si el proyecto será factible o no. Si la PCH logra generar la demanda promedio consumida por los hogares en la colonia Suyapa calculada en la sección 4.5.1, se considerará viable, de lo contrario, no será factible. Para calcular esta potencia de la turbina se utilizará la ecuación 8, la eficiencia hidráulica de la turbina para el cálculo será de 0.58. Con respecto a diferentes estudios, se concluye que este es el porcentaje mínimo aceptable de una turbina para una pequeña central hidroeléctrica; el caudal utilizado para el cálculo es el caudal promedio anual indicado por COPECO y el salto neto calculado en la sección 4.5.3. Así se conocerá si la PCH será capaz de suplir la demanda potencia requerida en el peor escenario de eficiencia, se necesita de la ecuación 4.

$$Pt = n \times p \times g \times Q \times H$$

Ecuación 4. Cálculo de la potencia de la turbina hidráulica

Fuente: Estudio preliminar para la instalación de una MCH.

Donde las variables consideradas son:

- Pt= Potencia obtenida de la turbina [W]
- n= Eficiencia hidráulica de la turbina [-]
- p= Densidad de agua [p=1000 kg/m³]
- g= aceleración de la gravedad [g=9.81 m/s²]
- Q= Caudal [m³/s]
- H= Altura del salto de agua [m]

$$Pt = 0.58 \times 1000 \times 9.81 \times 12.49 \times 4$$

$$Pt = 284,262.40 \text{ W}$$

$$Pt = 284.26 \text{ kW}$$

4.5.3. EFICIENCIA DE LA TURBINA

La eficiencia de una turbina es el coeficiente entre la energía producida por la misma y la energía disponible. En otras palabras, es el porcentaje de trabajo o explotación de la turbina con respecto a la cantidad de agua disponible, una gráfica definida por la eficiencia de la turbina [%] y el caudal turbinado [m^3/s]. Las mediciones de eficiencia pueden determinarse únicamente al realizar ensayos sobre el modelo de turbina estudiado. Esta grafica se generará gracias al programa RETScreen, en el cual, ingresando ciertos valores que el programa requiere, generará la eficiencia de la turbina para el caso particular que se necesite.

4.5.4. ESTRUCTURAS QUE CONFORMAN UNA PCH (OBRA CIVIL)

Las pequeñas centrales hidroeléctricas se componen de obras civiles y equipos de generación, entre ellos; la toma o captación de agua, desgravación, desarenador (de ser necesario), canal de conducción, cámara o tanque de carga, tubería de presión, casa de máquinas, equipo electromecánico y las redes de transmisión. Para conocer mejor las partes de obra civil del proyecto, se hablará de cada una brevemente en la tabla 9. Para la mayoría de los proyectos hidroeléctricos, esta es la parte más costosa refiriéndose al factor dinero; cabe recalcar que la estructura que se propone para este proyecto es para la generación hidroeléctrica por filo de agua, explicada en la sección 3.9.2. En la ilustración 29, se puede observar la estructura civil de una PCH.

Tabla 8. Componentes de construcción civil en una PCH

	Lista de componentes	Descripción
1	Bocatomas	Son obras hidráulicas cuya función es regular y captar el caudal de agua, sin alterar el curso natural del río
2	Desgravación	El agua captada del río a través de la bocatoma transporta materiales o partículas sólidas que se necesita impedir interrumpen en el proceso, materiales como hojas, ramas, etc.
3	Desarenador	Está diseñado para impedir la entrada de partículas mayores a 0.5mm de diámetro
4	Canal de conducción	Su principal función es conducir el agua desde la bocatoma hasta la cámara de carga, pasando por los desarenadores y otros mecanismos que pueden construirse en el trayecto.
5	Tubería de presión	Son las encargadas de transportar el agua a presión hasta la turbina. Transporta el caudal desde la bocatoma hasta la casa de máquinas.
6	Casa de maquinas	Tiene como misión proteger de las adversidades climatológicas al equipo electrohidráulico que convierte la energía potencial del agua en electricidad, como turbina, generadores, etc.
7	Canal de restitución	Permite que el agua procesada, regrese al río, pero gracias a todo el proceso, regresa en mejores condiciones, ya que se mejoran los niveles de oxigenación de esta.

Fuente: Guía de buenas prácticas minicentrales hidroeléctricas. Elaboración propia.

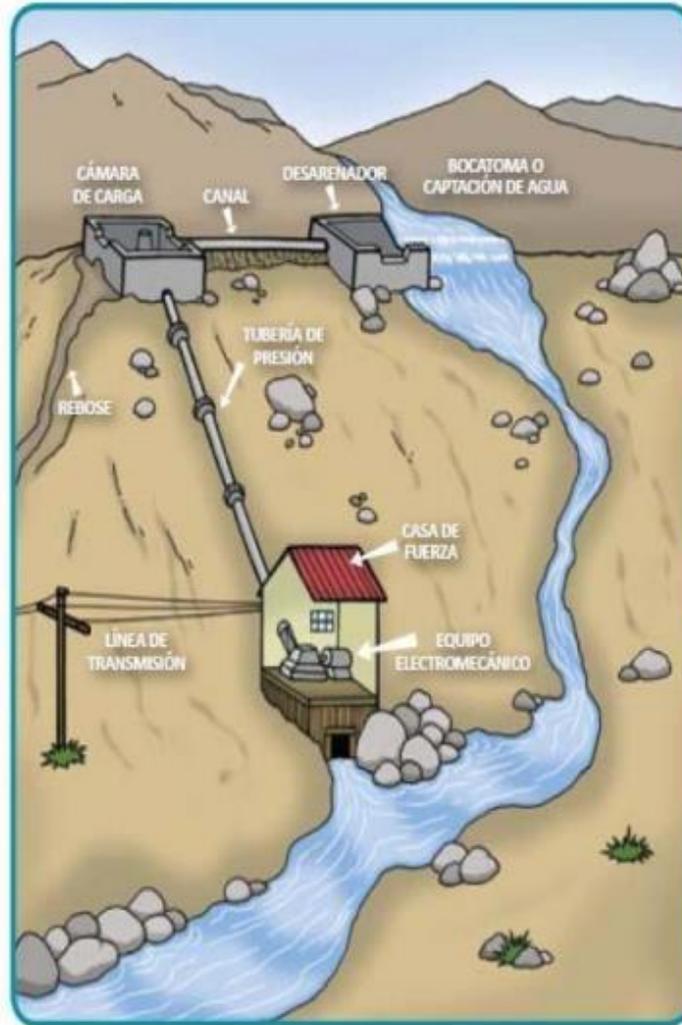


Ilustración 31. Estructura civil de una PCH

Fuente: Guía de buenas prácticas minicentrales hidroeléctricas.

4.6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En esta sección se especifica el trabajo realizado semanalmente, sumando un total de diez semanas, logrando llegar a la culminación del trabajo de investigación, como se puede apreciar en la tabla 9.

Tabla 9. Cronograma de actividades realizadas semanalmente a lo largo de diez semanas

Cronograma de actividades										
Actividades	Julio		Agosto				Septiembre			
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Recopilación de información	■	■	■							
Visita de campo			■							
Planteamiento del problema	■	■								
Objetivos	■	■								
Preguntas de investigación	■	■								
Marco teórico		■	■							
Metodología			■	■	■	■				
Análisis y resultados			■	■	■	■				
Bibliografía	■	■	■	■	■	■				
Introducción							■	■		
Abstract							■	■		
Conclusiones								■	■	
Recomendaciones								■	■	
Pre-defensa										■

Fuente: Elaboración propia

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se hablará sobre el análisis y resultados obtenidos para comenzar a generar conclusiones sobre la factibilidad técnica y económica de la PCH. En la ilustración 30 se muestra el estado actual del sistema que abastece de energía eléctrica la colonia y en la ilustración 31 el estado propuesto y analizado en este estudio.



Ilustración 32. Estado actual para generación de energía eléctrica

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 33. Tecnología propuesta para la generación de energía eléctrica

Fuente: Elaboración propia.

5.1. ANÁLISIS TÉCNICO

Se expone sobre las variables que afectan directamente la producción de la pequeña central hidroeléctrica, desde la demanda de potencia de la colonia, la variación del caudal a lo largo del año y la elección de la turbina que mejor se adapte al proyecto.

5.1.1. CONSUMO PROMEDIO DE LA COLONIA

De las encuestas aplicadas, que dicho formato se muestra en la tabla 6. Se concluye que: el 97.7% de los hogares encuestados poseen, refrigeradora y televisor, el 93% tiene un router instalado, el 86% utiliza ventilador y en su mayoría, los hogares poseen dos ventiladores por hogar. Gracias a los datos tabulados se conoce que un 39.5% tiene 12 focos en sus hogares, siendo el 90.7% focos pequeños, la gran mayoría, no deja focos encendidos por la noche. Se tabuló que la mayoría de los hogares comienza su día a las 6:00 a.m. y lo concluyen a las 10:00 p.m. Con estos datos se puede concluir que de las 128 familias en promedio los habitantes de la colonia Suyapa tienen un consumo específico de equipamiento doméstico de 3.95 kWh al día; y de 118.37 kWh al mes. Para obtener la demanda de la zona se utilizará el método Real Electricity Administration, el cuál consta de dos factores.

$$Factor A = N \times [1 - 0.4 \times N + 0.4 (N^2 + 40)^{0.5}]$$

Ecuación 5. Demanda de las familias beneficiadas

Fuente: Manual para el diseño e instalación de una micro central hidroeléctrica.

Donde:

- N= cantidad de familias beneficiadas

$$Factor A = 128 \times [1 - 0.4 \times 128 + 0.4 (128^2 + 40)^{0.5}]$$

$$Factor A = 135.99$$

$$Factor B = 0.005925 \times (Cesp)^{0.885}$$

Ecuación 6. Consumo específico por beneficiario

Fuente: Manual para el diseño e instalación de una micro central hidroeléctrica.

Donde:

- C_{esp} = consumo específico mensual

$$Factor B = 0.005925 \times (118.37)^{0.885}$$

$$Factor B = 0.4050$$

Para calcular la demanda máxima de potencia anual se multiplican los resultados de las ecuaciones 3 y 4.

$$Potmax = Factor A \times Factor B [kW]$$

Ecuación 7. Demanda de potencia máxima para el año de inicio

$$Potmax = 135.99 \times 0.4054$$

$$Potmax = 55.08 kW$$

Fuente: Manual para el diseño e instalación de una micro central hidroeléctrica.

El consumo de energía anual se obtiene con la siguiente ecuación:

$$E = 12 \times N \times C_{esp}$$

Ecuación 8. Consumo anual de energía

Fuente: Manual para el diseño e instalación de una micro central hidroeléctrica.

Donde:

- E = energía consumida anualmente [kWh/año]
- N = cantidad de familias en la zona [Adimensional]
- C_{esp} = consumo específico mensual [kWh]

$$E = 12 \times 128 \times 118.37$$

$$E = 181,816.32 kWh/año$$

Ahora haremos lo mismo para el consumo de alumbrado público y se concluirá la demanda de potencia total. La EEH recomienda que cada 60 metros se instale una lampara para iluminación pública, o cada cinco casas en zonas rurales. Conociendo estos datos, se hace un cálculo con el total de familias en la colonia que es 128, esto nos da un resultado de 26 lámparas para alumbrado público de 80W de potencia.

Tabla 10. Demanda total de potencia de la colonia Suyapa

Sector	Consumo específico [kWh/mes]	Factor A	Factor B	Demanda de potencia [kW]
Residencial	118.37	135.99	0.4050	55.08
Alumbrado público	655.20	33.88	1.84	62.39
TOTAL				117.47

Fuente: Elaboración propia.

En conclusión, la colonia Suyapa tiene una demanda de potencia de 123.34 kW, con la suma de aparatos del sector residencial, el alumbrado público de la colonia, y se consideró un 5% de pérdidas por transmisión. La energía eléctrica anual será de 405,550.82 kWh, con la suma de aparatos del sector residencial, alumbrado público y un 5% de perdidas por transmisión. Los perfiles de carga de los hogares en la colonia Suyapa se observan en la ilustración 32 y 33.

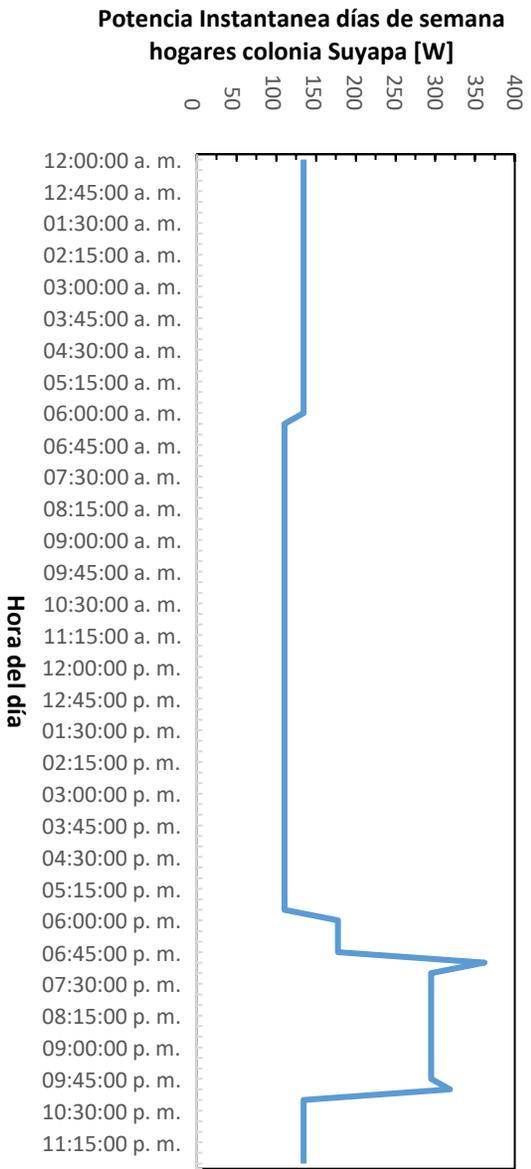


Ilustración 34. Perfil de carga promedio días de semana por hogar en la colonia Suyapa

Fuente: Elaboración propia.

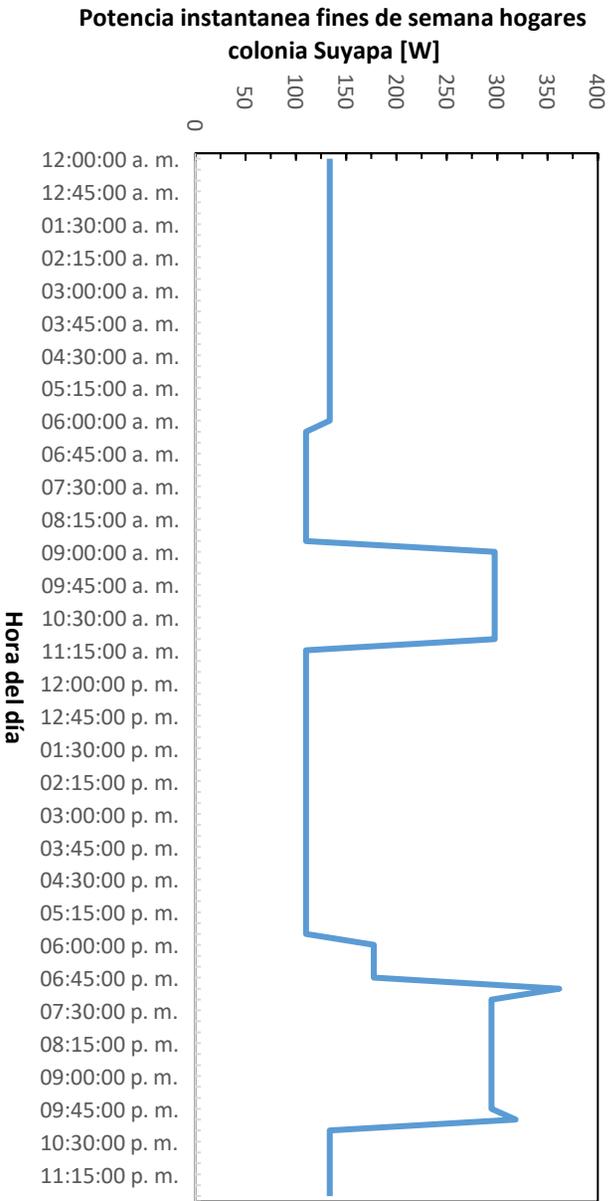


Ilustración 35. Perfil de carga promedio fines de semana por hogar en la colonia Suyapa

Fuente: Elaboración propia.

5.2. DIMENSIONAR LA PCH

En el dimensionamiento de la PCH, se calcula el caudal promedio del recurso primario seleccionado, así como la selección de la turbina hidráulica y por último la producción de potencia que tendrá la PCH, con los cálculos pertinentes realizados.

5.2.1. SALTO NETO

Teniendo el parámetro que se muestra en la ilustración 24 establecido, se procede a calcular las curvas de nivel del terreno. El punto de elevación más bajo se observa en la ilustración 25, con una altura de 156 metros, donde se ubicará la casa de máquinas. El punto más alto registrado en las cotas se observa en la ilustración 26, consta de una altura de 160 metros, ahí se ubicará la bocatoma, el salto de agua neto es de 4 m.

5.2.2. CAUDAL

Los datos del caudal fueron brindados por COPECO, son datos recopilados a diario a lo largo de un año 2015, en la ilustración 34, se puede observar el caudal promedio que se registró en ese mes, con dichos datos se podrán observar en qué meses la pequeña central tendrá un caudal bajo y en qué mes tendrá el caudal máximo mensual. Obteniendo así, el peor y mejor escenario del caudal ambiental a lo largo del año del río.

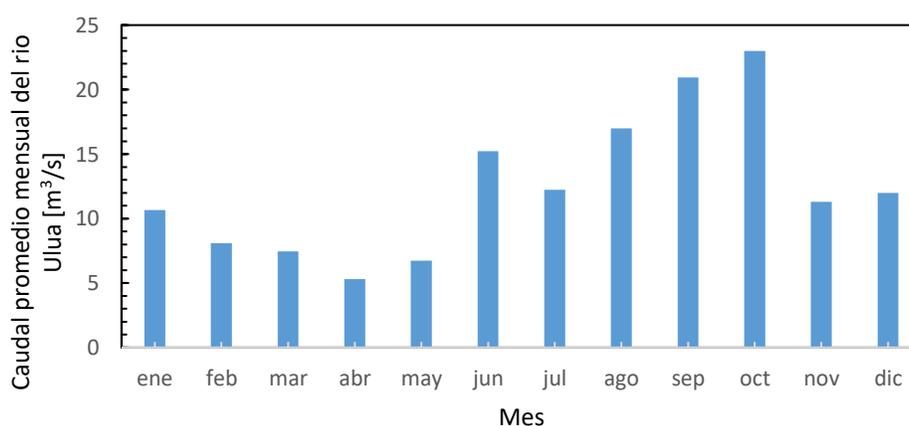


Ilustración 36. Caudales promedio mensuales río Ulúa año 2015

Fuente: COPECO. Elaboración propia.

Tabla 11. Caudales promedio mensuales del río Ulúa año 2015

Mes	Caudal promedio mensual río Ulúa año 2015 [m ³ /s]
Enero	10.668
Febrero	8.099
Marzo	7.454
Abril	5.297
Mayo	6.730
Junio	15.222
Julio	12.231
Agosto	17.012
Septiembre	20.947
Octubre	22.984
Noviembre	11.294
Diciembre	11.981

Fuente: COPECO. Elaboración propia.

Se concluye que el peor escenario de caudal será el mes de abril, con un caudal promedio de 5.2974 m³/s. En cuanto al mejor escenario se dará en el mes de noviembre con un caudal promedio de 22.98 m³/s, el caudal promedio anual es de 12.49 m³/s.

Gracias a las precipitaciones mensuales en la ilustración 23, se puede asumir en qué meses se tendrá una baja y alta, en el caudal del río. Los meses con un caudal bajo serán de enero a abril y los mejores meses de mayo a octubre. Si hacemos una comparación de datos con los caudales promedio mensuales calculados, se puede analizar que las precipitaciones tienen una gran influencia en los caudales, ya que el mes con menos caudal registrado fue abril y se puede observar en la gráfica de precipitaciones que ese mes, es uno de los que menos recibe, lo mismo con el mes de octubre, es el mes con el mayor caudal promedio, y éste se encuentra en los meses con mayores precipitaciones mensuales.

El 60% del peor escenario de caudal es 2 m³/s, entonces, el caudal seleccionado para la generación de energía eléctrica es de 2 m³/s. Se tomó esa cantidad, ya que el río Ulúa es el río más ancho de Honduras y por consiguiente es el que mayor caudal genera (Greenway, 2021). Como la generación de energía eléctrica sería excesiva, al tomar esos 2m³/s mensualmente el río Ulúa

seguirá su cauce habitual, sin ser afectado o causar un riesgo ambiental y se podrá generar la energía eléctrica necesaria; en la tabla 12, se puede observar el caudal restante de los promedios mensuales, y así verificar que se está conservando más del 60% del caudal ambiental mensual del río.

Tabla 12. Caudal ecológico restante de los promedios mensuales

Mes	Caudal necesario [m ³ /s]	Caudal promedio mensual [m ³ /s]	Caudal ambiental restante [m ³ /s]
Enero	2	10.7	8.7
Febrero	2	8.1	6.1
Marzo	2	7.5	5.5
Abril	2	5.3	3.3
Mayo	2	6.7	4.7
Junio	2	15.2	13.2
Julio	2	12.2	10.2
Agosto	2	17.0	15.0
Septiembre	2	20.9	18.9
Octubre	2	23.0	21.0
Noviembre	2	11.3	9.3
Diciembre	2	12.0	10.0

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. CÁLCULO DEL CAUDAL MÉTODO SECCIÓN-VELOCIDAD

Al obtener el caudal promedio mencionado en la sección 4.5.2, se propuso realizar una medición de caudal de forma empírica, con el fin de comprobar datos recopilados. Se propone el método de sección-velocidad, igualmente explicado en la sección 4.5.2. En la tabla 13, se promedian las mediciones realizadas, obteniendo así, el caudal promedio con respecto a las mediciones. Se debe aclarar que las mediciones son muy variables, ya que, ninguna de las mediciones realizadas era constante, como el ancho, profundidad y velocidad del río. Se observó que, en la parte ancha del río, la velocidad es mayor que en las partes angostas; así mismo, se observó que en las partes anchas la profundidad es menor que en las partes angostas.

Tabla 13. Promedios de mediciones realizadas en el río Ulúa

Numero de medición	Ancho [m]	Profundidad [m]	Área [m ²]	Velocidad [m/s]
Medición 1	45	1.5	67.5	3.63
Medición 2	64	0.5	32	2.85
Medición 3	72	0.5	36	4.25
Medición 4	50	1	50	2.97
Promedios	57.75	0.875	46.375	3.43

Fuente: Elaboración propia.

$$Q = 46.375 \times 3.43$$

$$Q = 158.83 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se concluye con la ecuación 7; que el caudal promedio calculado es de 158.83 m³/s.

5.2.4. TURBINA HIDRÁULICA

Gracias a los datos de caudal promedio recopilados y brindados por COPECO, el cálculo de caudal necesario, así como también el cálculo de salto neto que tendrá la central, se puede seleccionar la turbina que mejor se adapte a nuestras necesidades, con la ayuda de la tabla 8 e ilustración 24. Se considera que la mejor opción es una turbina Kaplan, se propone una turbina Kaplan modelo SALORIA T800 de baja velocidad tipo bulbo, ya que, se utiliza para centrales hidroeléctricas de pequeña potencia con un salto neto desde 1.2 m a 8m, está aprovechará al máximo la caída de 4m, los rangos de caudal son muy amplios desde 2 a 300 m³/s, y un rendimiento mayor al 80%. La Capacidad instalada será de 60KW.

5.2.5. EFICIENCIA DE LA TURBINA

Con la tabla 14, se puede observar la eficiencia de la turbina Kaplan, con respecto al porcentaje de flujo nominal; mientras que en la ilustración 36, esa eficiencia se graficó, en función del caudal. Gracias a dicha gráfica obtendremos una ecuación, que calcule la eficiencia a la que la turbina está trabajando, dependiendo del caudal al que se someta.

Tabla 14. Eficiencia de turbina Kaplan

Porcentaje de flujo nominal [-]	Eficiencia [-]
10%	0.25
20%	0.56
25%	0.72
30%	0.82
35%	0.87
40%	0.90
45%	0.92
50%	0.93
55%	0.93
60%	0.93
65%	0.93
70%	0.93
75%	0.93
80%	0.93
85%	0.93
90%	0.93
95%	0.93
100%	0.93

Fuente: Datos de RETscreen.

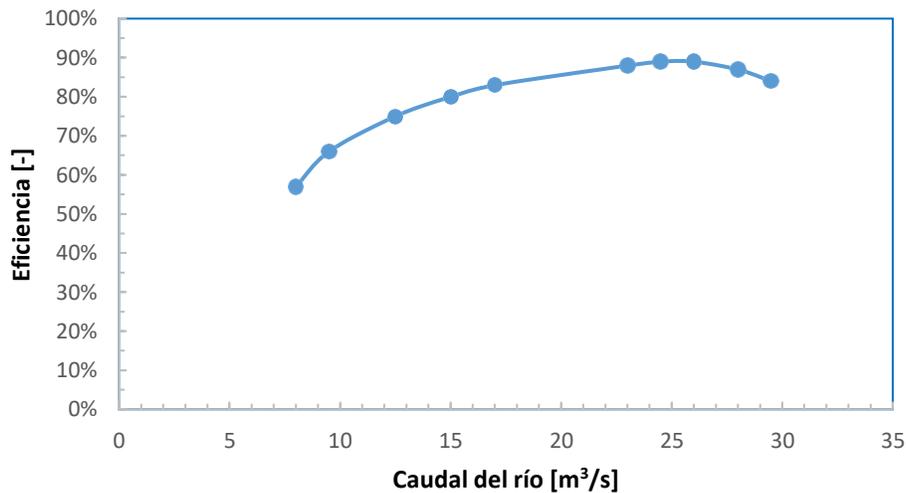


Ilustración 37. Gráfica de eficiencia de turbina Kaplan con respecto al caudal

Fuente: Datos de Ocampo.

$$Y = (0.0119) x (X) + 0.5693$$

Donde:

- Y= Eficiencia a la que la turbina trabaja con respecto al caudal [Adimensional]
- X= Caudal del río [m³/s]

Gracias a la tabla 14, podemos concluir que el porcentaje de flujo nominal debe ser de arriba de un 20%, ya que la eficiencia mínima permitida para una PCH es de 0.58, como se menciona en la sección 4.5.2, con respecto a la turbina Kaplan T800, este flujo nominal es pequeño, gracias al gran rendimiento de la turbina, la cual trabajara al 60% de su eficiencia, con esos 2m³/s de caudal que se suministraran.

5.2.6. UBICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA PCH

Cálculo de longitud de tubería

Para el caudal necesario de 2m³/s, se debe buscar la tubería adecuada, para que esté transporte el caudal elegido. Para esto, necesitamos de las ecuaciones 9 y 10. Con la ecuación 9, se calculará la longitud total de la tubería.

$$L = \sqrt{(\text{Ubicacion de turbina})^2 + (Hb)^2}$$

Ecuación 9. Longitud de la tubería

Fuente: Tesis diseño de una microcentral hidroeléctrica partiendo de un salto hidráulico natural.

Donde:

- L= Longitud de la tubería [m]
- Hb= Altura de caída bruta existente [m] (Es un metro más que el salto neto calculado)
- Ubicación de la turbina= Manuel Londoño y Audreth Pinto, recomiendan en sus tesis Diseño de una microcentral hidroeléctrica partiendo de un salto hidráulico natural. Que se considere una distancia de 10 m, ya que la caída de agua no debe estar directamente sobre la turbina hidráulica.

$$L = \sqrt{(10)^2 + (5)^2}$$

$$L = 11 \text{ m}$$

Cálculo del diámetro de tubería

$$d = 0.3 \times \frac{5\sqrt{Q^2 \times L}}{Hb}$$

Ecuación 10. Diámetro de tubería

Fuente: Tesis diseño de una microcentral hidroeléctrica partiendo de un salto hidráulico natural.

Donde:

- D= Diámetro [mm]
- Q= Caudal [m3/s]
- L= Longitud de tubería [m]
- Hb= Altura de caída bruta existente [m] (Es un metro más que el salto neto calculado)

$$d = 0.3 \times \frac{5\sqrt{2^2 \times 11}}{5}$$

$$d = 463.50 \text{ mm} = 18 \text{ pulg}$$

En Honduras no se encuentra disponible comercialmente el diámetro de tubería calculado de tubería, por esa razón se utilizará un tubo de 600 mm que es igual a 23 pulgadas, la turbina seleccionada recomienda esa medida de tubería. En total serán, 11 metros de tubería con diámetro de 23 pulgadas.

El río Ulúa hace su recorrido de Sur a Norte, por esta razón la ubicación de la PCH es como se observa en la ilustración 38.

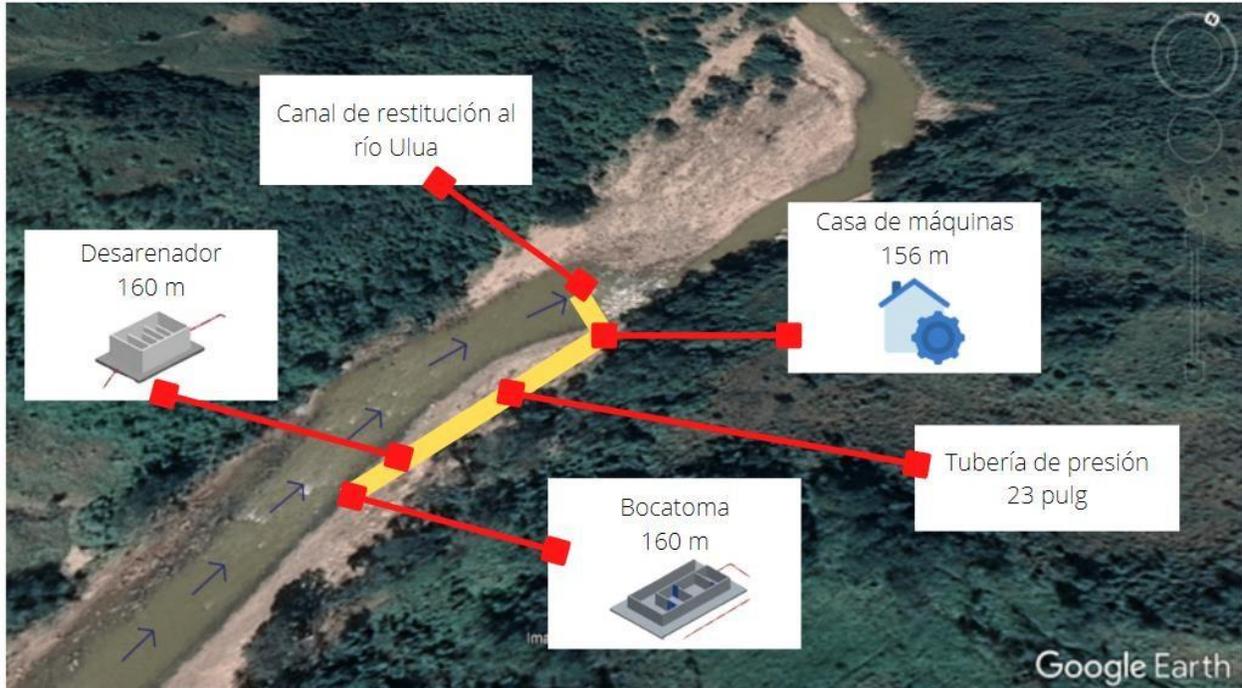


Ilustración 38. Ubicación de los elementos de la PCH

Fuente: Elaboración propia

Para la red de distribución, como se explicó en el capítulo 5.1.1, se recomienda que la distancia mínima de los postes de distribución es de 60 m, con una altura de 12 m, ya que por ser un área boscosa el límite de altura es reducido, ya que está limitado por la altura de los árboles, altura de máxima 30 m. La distancia total de la casa de máquinas hasta la colonia es de 1.89 km, en total se colocarán 31 postes de distribución, como se muestra en la ilustración 39.



Ilustración 39. Mapa postes de distribución

Fuente: Elaboración propia.

5.3. DETERMINAR PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA PCH

Para estimar la generación de energía eléctrica de la PCH, se necesitan datos que en capítulos anteriores se calcularon, como la eficiencia de la turbina, el salto neto y caudal calculado. Para el cálculo de la potencia, se precisó de la ecuación 4. En la tabla 15, se presenta el resumen de datos requeridos para dicho cálculo. La producción anual de energía eléctrica de la central será de 407,747.23 kWh/año y la energía teórica de 639,480.00 kWh/año.

Tabla 15. Energía eléctrica anual producida por la PCH

Mes	Días en el mes	Horas al mes	Caudal seleccionado [m3/S]	Salto neto [m]	Gravedad [m/s2]	Eficiencia [-]	Densidad del agua [kg/m3]	Potencia teórica [kW]	Potencia [kW]	Energía [kWh/mes]	Energía teórica [kWh/mes]
Enero	31	744	2.0	4	9.81	0.5931	1000	73	46.55	34,630.59	54,312.00
Febrero	28	672	2.0	4	9.81	0.5931	1000	73	46.55	31,279.24	49,056.00
Marzo	31	744	2.0	4	9.81	0.5931	1000	73	46.55	34,630.59	54,312.00
Abril	30	720	2.0	4	9.81	0.5931	1000	73	46.55	33,513.47	52,560.00
Mayo	31	744	2.0	4	9.81	0.5931	1000	73	46.55	34,630.59	54,312.00
Junio	30	720	2.0	4	9.81	0.5931	1000	73	46.55	33,513.47	52,560.00
Julio	31	744	2.0	4	9.81	0.5931	1000	73	46.55	34,630.59	54,312.00
Agosto	31	744	2.0	4	9.81	0.5931	1000	73	46.55	34,630.59	54,312.00
Septiembre	30	720	2.0	4	9.81	0.5931	1000	73	46.55	33,513.47	52,560.00
Octubre	31	744	2.0	4	9.81	0.5931	1000	73	46.55	34,630.59	54,312.00
Noviembre	30	720	2.0	4	9.81	0.5931	1000	73	46.55	33,513.47	52,560.00
Diciembre	31	744	2.0	4	9.81	0.5931	1000	73	46.55	34,630.59	54,312.00
Total de energía anual generada [kWh/año]										407,747.23	639,480.00

Fuente: Elaboración propia.

5.4. ANÁLISIS ECONÓMICO

Tiene como finalidad, calcular los parámetros financieros del proyecto, dichos datos influyen directamente en las conclusiones del proyecto, ya que definen por medio del factor económico, qué tan factible será el proyecto de generación hidroeléctrica en función de la TIR y el VAN. Desde la construcción de casa de máquinas, desarenador, etc; al igual que costos por mantenimiento, mano de obra y equipo electromecánico necesario.

5.4.1. COSTOS TOTALES

Son los costos que se deberán obtener para la instalación de la PCH, ya que son precios de construcción, equipos y componentes eléctricos indispensables para el funcionamiento.

Tabla 16. Costos de equipos, componentes eléctricos y obras civiles

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario [\$]	Total [\$]
Equipos				
Generador	[-]	1	2,000.00	2,000.00
Tablero de control	[-]	1	15,443.04	15,443.04
Turbina Kaplan T800	[-]	1	26,889.57	26,889.57
Tubería y Válvulas	[-]	1	7,594.94	7,594.94
TOTAL				51,927.54
Componentes eléctricos				
Transformador	[-]	1	12,869.20	12,869.20
Equipo de protección	[-]	1	843.88	843.88
Regulador	[-]	1	1,054.85	1,054.85
Red de transmisión	km	1.89	11,173.61	21,118.14
TOTAL				35,886.08
Obras civiles				
Casa de maquinas	[-]	1	3,080.17	3,080.17
Bocatoma	[-]	1	2,531.65	2,531.65
Desgravación y desarenador	[-]	1	2,953.59	2,953.59
Montaje de tubería	[-]	1	1,054.85	1,054.85
Preparación del terreno	[-]	1	2,320.68	2,320.68
Transporte de materiales	[-]	1	2,531.65	2,531.65
TOTAL				14,473
COSTO TOTAL PROYECTADO [\$]				102,286
COSTO DE CAPITAL ESPECIFICO [\$/kW]				1,704.72

Fuente: Elaboración propia.

5.4.2. COSTOS ANUALES

Son los costos anuales para el mantenimiento de la central hidroeléctrica, se toma en cuenta un porcentaje adicional por imprevistos que pueden llegar a afectar el funcionamiento de la PCH, como fallos mínimos de la obra civil o equipo como, válvulas o tubería y por último en la casa de máquinas donde se encontraran dos encargados a los cuales se les pagará 436.42 dólares mensuales considerando el aguinaldo y catorceavo, para que estos velen por el correcto funcionamiento de la pequeña central, realicen el mantenimiento de la misma y gestionen la contabilidad.

Tabla 17. Costos anuales O&M, costos administrativos e imprevistos

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario [\$]	Total [\$]
Costos anuales				
Operación y mantenimiento	[\$/kW/Año]	60	51.14	3,068.40
Gastos administrativos	[-]	2	436.42	12,219.76
Imprevistos	[-]	1	1,000.00	1,000.00
TOTAL				16,288.16

Fuente: Elaboración propia.

5.4.3. FACTOR DE PLANTA

Este es una relación entre la energía generada anualmente y la energía teórica generada anualmente, en otras palabras, lo que genera anual y lo que pudo llegar a generar si la turbina trabajara con su eficiencia al máximo. Los valores están dados en la tabla 15, del capítulo 5.2.

$$\text{Factor de planta} = \frac{\text{Energía real generada en un año [kWh]}}{\text{Energía teórica a plena carga en un año [kWh]}}$$

Ecuación 11. Factor de planta

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

$$\text{Factor de planta} = \frac{407,747.23}{639,480.00}$$

$$\text{Factor de planta} = 0.6376$$

El factor de planta que se obtuvo es de 0.6376 que es igual a 63.76%. El factor de planta de una central hidroeléctrica es cerca del 60%, con lo que se deduce que el factor de planta calculado es aceptable.

5.4.1. LCOE

El costo nivelado de la energía permite comparar qué tan competitivo es el precio de la energía que estamos evaluando con respecto a la tarifa que estamos evaluando. Toma en cuenta el costo por mantenimiento y operación anual, en este caso de la PCH, el costo del capital para la instalación y la vida útil del proyecto. Se aclara que el costo del combustible es cero para las energías renovables y se define mejor en la ecuación 12.

$$LCOE = \frac{C.C + (O\&M \times Vida\ del\ Proyecto) + Costo\ del\ combustible}{Energía\ generada\ anualmente\ x\ vida\ del\ proyecto}$$

Ecuación 12. Costo nivelado de energía

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

Donde:

- LCOE= Costo nivelado de la energía [\$/kWh]
- C.C= Costo capital [\$]
- O&M= Costo de operación y mantenimiento [\$]
- Costo de combustible= Para energías renovables es cero [\$]
- Energía generada anualmente= La energía generada en un año [kWh]
- Vida del proyecto= Años que funcionará el proyecto [Años]

$$LCOE = \frac{102,283 + (16,288.16 \times 30) + 0}{407,747.23 \times 30}$$

$$LCOE = 0.04830 \text{ \$/kWh}$$

5.4.2. EL VAN Y LA TIR

Con estos dos indicadores se define la viabilidad económica del proyecto, ya que ambos parámetros tienen una relación directa con el flujo de caja y por ese factor definen el tiempo de recuperación en dos escenarios, el escenario sin financiamiento y con financiamiento.

Para el escenario con financiamiento la deuda será del 70% de la inversión total, la tasa de interés del préstamo del 8.50%, la inversión propia es del 30%, la tasa de interés de fondos propios del 16% y el plazo del préstamo de 10 años, tasa de descuento de 10.75% y la vida útil del proyecto es de 30 años.

Flujo de efectivo sin financiamiento

El periodo de recuperación es de 10 años, como se observa en la ilustración 40.

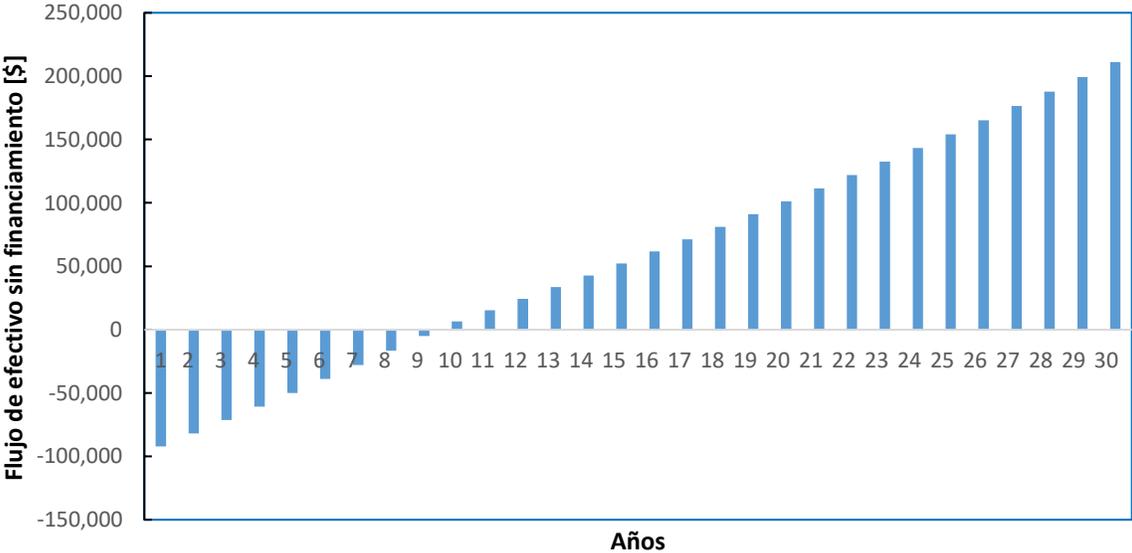


Ilustración 40. Flujo de efectivo sin financiamiento

Fuente: Elaboración propia.

Flujo de efectivo con financiamiento

El periodo de recuperación con financiamiento es de 2 años, como se observa en la ilustración 41.

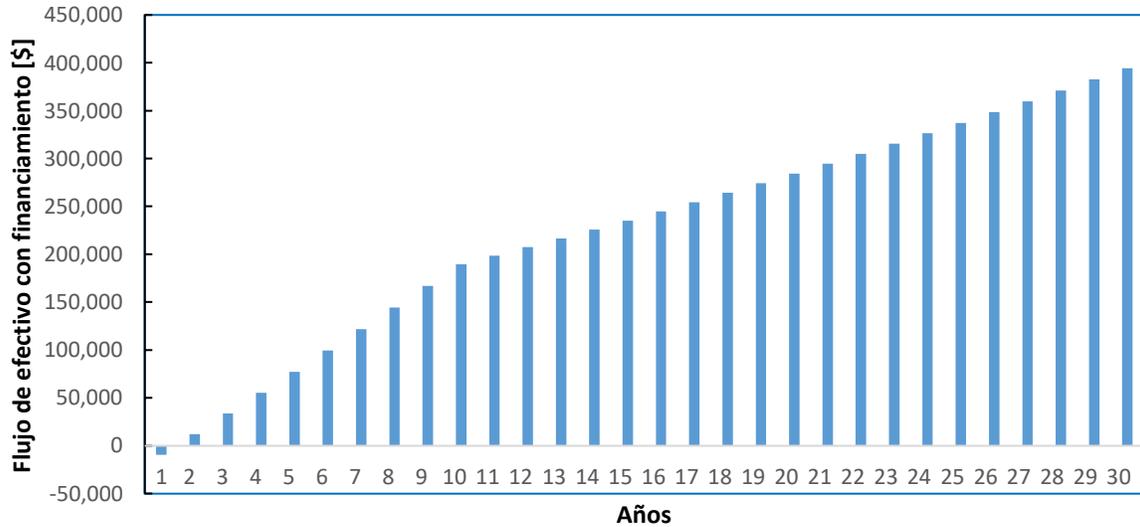


Ilustración 41. Flujo de efectivo con financiamiento

Fuente: Elaboración propia.

Si el periodo de recuperación de la inversión de una central hidroeléctrica supera los cuatro años, no se considera rentable. Tomando en cuenta el dato anterior; el escenario más rentable es un financiamiento del proyecto, ya que la recuperación de inversión será rápida, se dará al segundo año de funcionamiento de la pequeña central. Otro parámetro para deducir la rentabilidad es gracias al ROI, que es el índice del retorno de la inversión, se compara el ROI de ambos escenarios, en la ilustración 42 y el mayor, es el más rentable. Se deduce que la mejor opción es obtener un financiamiento, con un 125% contra un -10% del escenario sin financiamiento.

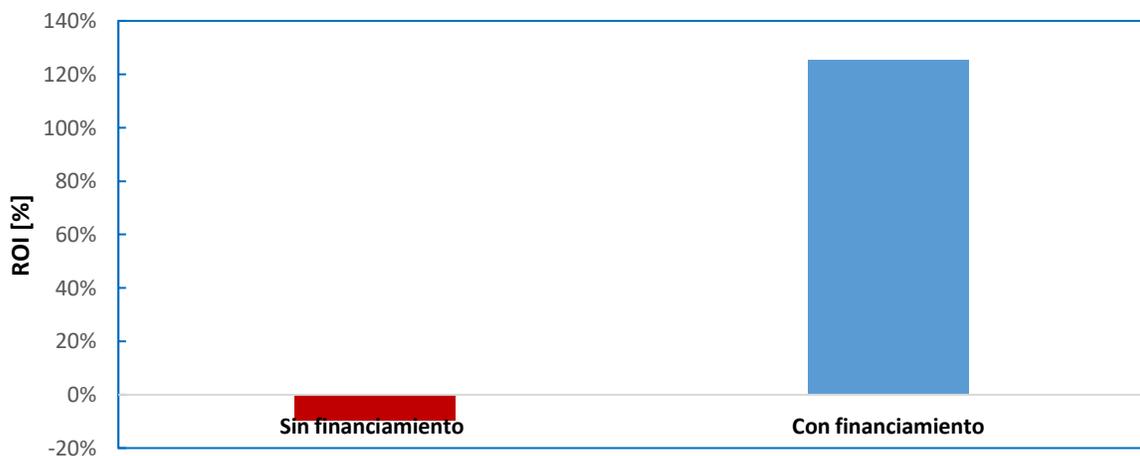


Ilustración 42. Comparación del ROI

Fuente: Elaboración propia.

5.4.3. COMPARACIÓN DE VAN Y TIR PARA AMBOS ESCENARIOS

En la ilustración 43, se presenta una comparación del valor presente neto (VAN), con respecto a los dos escenarios estudiados. En la ilustración 44, se compara la tasa interna de retorno (TIR). En la tabla 18, se observan los valores para cada parámetro y escenario propuesto.

Tabla 18. Valores obtenidos del VAN y la TIR

Financiamiento	VAN [\$]	TIR [%]
Sin financiamiento	-9,888	9.51%
Con financiamiento	128,149	70.00%

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 43. Comparación del VAN

Fuente: Elaboración propia.

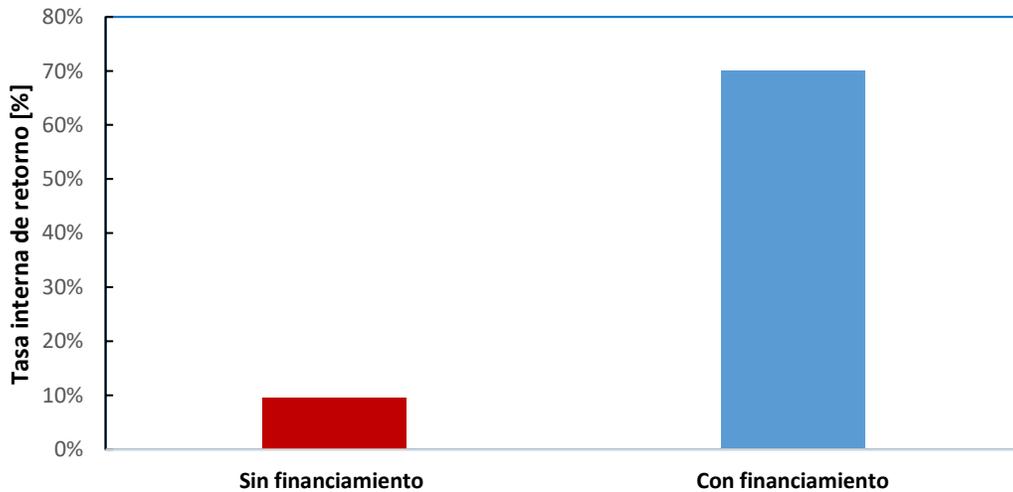


Ilustración 44. Comparación de la TIR

Fuente: Elaboración propia.

Los dos escenarios tienen una Tasa Interna de Retorno (TIR) aceptable, se dice que un proyecto será rentable si la TIR es mayor a la tasa de descuento, que para efectos de este proyecto se consideró un 10.75%, en ese caso se concluye que la mejor opción es tener un financiamiento, ya que para este escenario la TIR será del 70%, contra un 10% de la TIR sin financiamiento. Con respecto al Valor Presente Neto (VAN) se representa el valor actual del proyecto, la ganancia al finalizar la vida útil del proyecto, que la mejor opción es el escenario con financiamiento, ya que invirtiendo el 30% del capital total, se recupera más del 100% del costo de capital total del proyecto.

5.4.4. OPCIÓN MÁS VIABLE CON RESPECTO A COSTO

El costo nivelado de la energía, calculado en la sección 5.3.1, nos da el costo para producir 1 kWh en la pequeña central hidroeléctrica, y fue de 0.04830 \$/kWh. Ahora se debe establecer una tarifa para la venta de ésta. Con respecto al análisis financiero realizado en la sección 5.3.2, este valor será de 0.10 \$/kWh que es 2.37 L/kWh, el costo es un 50% menos que la tarifa eléctrica actual y dos veces más que el LCOE calculado. Actualmente la tarifa eléctrica en el sector residencial es de 0.20 \$/kWh lo que equivale a 4.74 L/kWh. Por lo que se concluye que la opción más barata es que la comunidad se abastezca de energía eléctrica gracias a la PCH aislada del SIN y dejar de consumir

del sistema interconectado nacional (SIN).

¿Puede la tarifa de la PCH suplir el pago de O&M anual?

La fórmula para calcular si la tarifa calculada para la venta de kWh suplirá el pago de O&M anual de la PCH es:

$$\text{Pago anual} = \text{Tarifa PCH} \times \text{Consumo promedio mensual por hogar} \times \text{Total de hogares} \times 12$$

Ecuación 13. Cálculo de pago anual para suplir O&M

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- Tarifa PCH: Es la tarifa establecida para la venta de kWh en la PCH [\$/kWh]
- Consumo promedio mensual por hogar: Es el consumo diario por hogar multiplicado por 30 [kWh/mes]
- Total hogares: Es el total de hogares a los cuales se les suplirá la demanda de energía eléctrica [Adimensional]
- Meses al año: La cantidad de meses que se suplirá la demanda de energía eléctrica al año [meses]

Tabla 19. Total de pago anual para cubrir el pago anual de O&M

Tarifa PCH	0.10	\$/kWh
Consumo promedio mensual por hogar	118.37	kWh/mes
Total hogares	128	[-]
Meses al año	12	[meses]
TOTAL DE PAGO ANUAL	\$ 18,181.63	[\$]

Fuente: Elaboración propia.

El costo calculado para O&M es de 16,288.16 dólares anual, el total de efectivo que se recibirá anualmente por concepto de pago por servicio eléctrico en la colonia Suyapa es de 18,181.63 dólares anuales, así que el costo de operación y mantenimiento será pagado completamente. Al ser fondos de una sociedad sin fines de lucro, las utilidades se invierten en la comunidad, como educación, infraestructura, conservación ambiental e imprevistos en la pequeña central.

5.4.5. METODOLOGÍA PARA DESARROLLO Y FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO

Cada familia tendrá un contador, que registrará el consumo de kWh/mes. En la casa de máquinas se tendrá una interfaz SCADA, donde se inspeccionará el consumo mensual por hogar de la colonia, se cobrará en la factura el costo por comercialización que es de 56.28 lempiras mensuales, en la factura se desglosará el concepto de cobro en lempiras, tomando en cuenta el cargo por comercialización, costo de energía y alumbrado público. En la ilustración 45, se ilustra el proceso de cobro mensual. El costo por alumbrado público se calculará con las ecuaciones 13 y 14, que está en función del consumo mensual del cliente al mes, en este caso se usará la fórmula para consumo menor a 1,023 kWh.

$$\text{Alumbrado público [kWh]} = 0.0289567 \times \text{Consumo cliente [kWh]}$$

Ecuación 14. Consumo kWh/mes para un cliente menor a 1,023 kWh

Fuente: MSc. Franklin Martínez, Clase de Marco Legal, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras

$$\text{Total alumbrado público} = \text{Alumbrado público [kWh]} \times \text{Precio alumbrado público}$$

Ecuación 15. Total a pagar, costo por alumbrado público

Fuente: MSc. Franklin Martínez, Clase de Marco Legal, Ingeniería en Energía, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UNITEC, San Pedro Sula, Honduras

Donde:

- Precio de alumbrado público: Según la CREE actualmente es de 3.7429 L/kWh

La construcción del proyecto será con ayuda de donantes o inversionistas extranjeros, como la Agencia Española de Cooperación Internacional para el desarrollo (AECID), el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), por medio del Proyecto Acelerando las Inversiones en Energía Renovable en Centroamérica y Panamá (ARECA), que fue creado con el objetivo de apoyar el financiamiento de pequeños proyectos de energía renovable

menores a 10 MW de potencia. Además de tener en cuenta el financiamiento de bancos locales y la movilización de los pobladores de la colonia Suyapa. En la ilustración 46, se observa el proceso a seguir para el financiamiento del proyecto.



Ilustración 45. Proceso de cobro del consumo mensual eléctrico

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 46. Proceso de financiamiento para la construcción de la central

Fuente: Elaboración propia.

5.5. ESTUDIO AMBIENTAL

Se categorizará el proyecto según la tabla de categorización ambiental de la República de Honduras emitida por Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, publicada en diario La Gaceta,

año 2021. Así mismo se proponen medidas de mitigación para diferentes aspectos de la PCH, como factores la calidad del suelo, el aire y la calidad del agua.

5.5.1. CATEGORIZACIÓN DEL PROYECTO

La tabla de categorización ambiental nos da un parámetro del impacto ambiental que tiene directamente la tecnología renovable escogida con su producción. Mencionado esto, se deben tener datos clave para la categorización, como: el tipo de energía renovable a utilizar, la potencia máxima que esta generara, y si el proyecto contara o no, con líneas de transmisión. Dicho esto, la categorización de este proyecto se describe en la tabla 20.

Tabla 20. Tabla de categorización del proyecto

Sector	Sector 06. Energía
Subsector	A. Generación de energía
Actividad	004. Generación de energía hídrica, subestación y línea de transmisión
Descripción	Plantas hidroeléctricas, incluye subestación y línea de transmisión del generador
CIIU-3	3510
Código	06A004
Categoría	1

Fuente: La Gaceta. Elaboración propia.

5.5.2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN

En la tabla 21, 22, 23 y 24, se presenta un plan de mitigación para diferentes aspectos ambientales con los que se enfrenta una pequeña central hidroeléctrica.

Tabla 21. Medidas de mitigación para la calidad del suelo

Aspecto ambiental	Medidas propuestas	Frecuencia
Calidad del suelo		
Generación de residuos líquidos	Realizar el mantenimiento de los equipos y maquinaria en áreas impermeabilizadas y que sean destinadas para tal efecto.	Continuo

	Contar con material absorbente como paños Para evitar derrames o liqueos de combustibles, lubricantes, etc.	
Mantenimiento de motores de combustión interna y generador	Realizar inspecciones semestrales para verificar las condiciones o estado de los motores y generadores y tener cuidado con desechos peligrosos para evitar contaminación del suelo	Semestral
Manejo de productos químicos	Realizar inspecciones semestrales para verificar las condiciones o estado de la impermeabilización del piso de las áreas de almacenamiento de productos químicos y de desechos peligrosos para evitar contaminación del suelo en el caso de rupturas.	Semestral

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Medidas de mitigación para el aire y emisiones de ruido

Aspecto ambiental	Medidas propuestas	Frecuencia
Aire y emisiones de ruido		
Mantenimiento de motores de combustión interna, generadores y equipos eléctricos en general	Ejecutar un plan de mantenimiento preventivo de los equipos y maquinaria de la pequeña central hidroeléctrica de la colonia Suyapa	Mensual

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Medidas de mitigación para el paisaje

Aspecto ambiental	Medidas propuestas	Frecuencia
Paisaje		
Conservación del recurso paisajístico	Mimetizar la infraestructura de las instalaciones de la PCH dentro del Área Protegida, para mantener un equilibrio visual en el paisaje y minimizar el impacto ambiental	Continuo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Medidas de mitigación para la calidad del agua

Aspecto ambiental	Medidas propuestas	Frecuencia
Calidad del agua		
Mantenimiento de infraestructura civil	Realizar mantenimiento trimestral de la bocatoma y desarenadores de la PCH	Trimestral
Manejo de productos químicos e hidrocarburos	En el caso de un derrame de cualquier combustible, lubricante o producto químico que llegue o que potencialmente pueda llegar a un cuerpo de agua, el personal de la Central deberá tomar medidas inmediatas para contener y recuperar lo derramado.	En caso de derrame
Conservación de flora y fauna	Prohibir la caza y pesca, así como la recolección de especies de flora y fauna silvestres, por medio de capacitaciones al personal o mediante letreros.	Continuo
Conservación de la flora	Mantener el buen funcionamiento de las líneas de transmisión, haciendo poda de ramas de árboles que pongan en riesgo el funcionamiento adecuado de los cables de transmisión eléctrica	Cuando aplique

Conservación de la fauna	Las tuberías de la toma de agua en la bocatoma deberán llevar rejillas como medida de protección a la fauna acuática, evitando el arrastre de pequeños peces.	Mensual
	En el caso, que algún animal silvestre ingrese a las instalaciones, se evitará el contacto con este, permitiendo que el animal salga fuera de las instalaciones, de no ocurrir, se ayudará al animal a salir de las instalaciones para que regrese a su hábitat natural. En ningún caso se sacrificará al animal.	

Fuente: Elaboración propia.

VI. CONCLUSIONES

Se evaluó la factibilidad técnica y económica de una pequeña central hidroeléctrica para el abastecimiento eléctrico continuo de la colonia Suyapa, en el departamento de Santa Bárbara, desconectada del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Se realizó una recopilación de datos para determinar el consumo promedio de los hogares del sector, análisis de factores determinantes para la producción de energía eléctrica de la PCH como el salto de agua, la turbina a utilizar y el caudal y cálculos de presupuestos. A partir de dichos datos se determinó la viabilidad con respecto a costo de la pequeña central, comparando un escenario con y sin financiamiento para el desarrollo del proyecto. Concluyendo así, con los siguientes resultados.

- Se concluye que el consumo de energía eléctrica anual de la colonia Suyapa será de 405,550.82 kWh, considerando la suma de aparatos del sector residencial, alumbrado público y un 5% de pérdidas por transmisión.
- La producción de energía eléctrica de la pequeña central hidroeléctrica será de 407,747.23 kWh/año, concluyendo así que la pequeña central será capaz de suplir la demanda de energía eléctrica de la colonia Suyapa.
- Los costos que conlleva la instalación de la pequeña central serán de 102,286 dólares, considerando en el presupuesto obras civiles como la construcción de máquinas, desarenador y bocatoma siendo estas de 14,473.00 dólares; componentes eléctricos como el transformador, equipos de protección reguladores y red de transmisión con 35,886.08 dólares; la compra de equipos electromecánicos, como el generador, tableros de control, turbina Kaplan T800, tuberías y válvulas con un presupuesto de 51,927.94 dólares.
- El costo de operación y mantenimiento anual será de 16,288.16 dólares por todo; para este se consideraron 3,068.40 dólares para la operación y mantenimiento del proyecto; para gastos administrativos, el proyecto tendrá dos personas encargadas a las que se les pagará 436 dólares mensuales, incluyendo el aguinaldo y catorceavo, al año serán 12,219.76 dólares; y 1,000 dólares anuales destinados a imprevistos.
- El proyecto será rentable si se escoge el escenario con financiamiento, ya que el VAN, nos generará con el 30% de la inversión, 128,149 dólares al finalizar el año 30, la TIR será mayor en un escenario con financiamiento, con un 70%, contra un 10% del escenario sin

financiamiento; el LCOE calculado es menor a la tarifa del sector residencial hondureño, siendo de 0.04830 \$/kWh.

- La opción más viable con respecto a costos es pagar la tarifa eléctrica por kWh que la pequeña central hidroeléctrica ofrecerá que es de 0.10 \$/kWh, 50% menos que la tarifa eléctrica establecida para el sector residencial hondureño y dos veces más que el LCOE calculado.
- La categorización ambiental del proyecto está en el nivel uno, ya que se generarán menos de 3 MW en la pequeña central, se consideraron los aspectos más relevantes al momento de realizar un plan de mitigación ambiental para una pequeña central y estos fueron: calidad del suelo, aire y emisiones de sonido, calidad del agua y el paisaje.

A continuación, se mencionarán algunas limitaciones que se presentaron a lo largo del desarrollo de esta investigación. La primera limitación fue la recolección de datos; la situación que se vive actualmente a nivel mundial, la pandemia Coronavirus (COVID-19), imposibilitó la recolección de datos de manera presencial, lo que conllevó a la recolección de datos de manera virtual, elaborando una encuesta que tomara en cuenta los parámetros necesarios para elaborar un perfil de carga promedio de la demanda de los hogares que se encuentran en la colonia Suyapa, lo que llevó a la segunda limitante; la población de la colonia Suyapa en su mayoría, son personas mayores, con poco conocimiento sobre tecnología, lo que complicó aún más la recolección de datos. La tercera limitación identificada fue la medición del caudal del río, la mayoría de los métodos investigados para la medición de caudal, requerían de un grupo de personas expertas en el área para manejar equipos especializados, y que además son muy costosos.

A pesar de las limitaciones expuestas, se continuo trabajando, para la recolección de datos, se creó una encuesta con los parámetros necesarios para la elaboración del perfil de carga promedio por hogar, obteniendo así la demanda de potencia por hogar al día; con respecto a la edad, se logró contactar con la persona encargada de realizar los censos poblacionales de la colonia Suyapa, el cual brindó los números telefónicos y edades de los habitantes del sector, logrando identificar las personas aptas para responder las encuestas necesarias calculadas en la muestra. Al momento de la medición del caudal, se concluyó que los métodos estudiados, no podrían llevarse a cabo; por lo que se investigó, que organizaciones llevan un control de caudal, puntos

altos y bajos de los ríos en Honduras. La Comisión Permanente de Contingencias de Honduras (COPECO), fue el ente indicado, por lo que se realizó un proceso para la solicitud de datos de caudal, lo que se convirtió en un proceso muy engorroso y tardío, pasado un mes de espera y muchos correos de por medio, se logró recopilar la información necesaria. A pesar de las limitantes, la investigación se llevó a cabo, resolviendo de manera ingeniosa y funcional ante las adversidades. Se espera que este proyecto de investigación sirva de premisa para futuras investigaciones del tema y ampliar el conocimiento sobre las pequeñas centrales hidroeléctricas desconectadas de la red de distribución hondureña.

VII. RECOMENDACIONES

- Para la de la recolección de datos, se recomienda una visita de campo, ya que serían mediciones más precisas.
- Se recomienda al momento de calcular los consumos eléctricos, que se tome en cuenta un porcentaje de pérdidas por transmisión, para la actual investigación, se consideró un 5% de perdidas por transmisión.
- Muchos trabajos consultados para la realización de este trabajo de investigación no consideran el caudal ecológico del río con el que están trabajando, por lo que se recomienda, siempre tener en cuenta el respetar más del 10% del caudal promedio mensual del recurso hídrico.
- Al momento de decidir qué tan factible es un proyecto por medio del VAN y la TIR, se recomienda que la TIR sea mayor a la tasa de descuento tomada para el proyecto y el VAN sea mayor al costo del capital total del proyecto.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Abarca. (2012). *ESTUDIO PRELIMINAR PARA LA INSTALACIÓN DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA.*

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3025/Informe_Final.pdf?sequence=1

Arriols. (2018). *Cuáles son las fuentes de energía más utilizadas en el mundo.*

ASJ. (2021). *EL VERDADERO PRECIO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN HONDURAS.*

<https://asjhonduras.com/webhn/wp-content/uploads/2021/07/PPT-El-verdadero-precio-de-la-energia-en-Honduras-08.07.21.pdf>

ASOBANCARIA. (2021). *¿Qué es el PIB y en qué lo afecta?* <https://www.sabermassermas.com/que-es-el-pib-y-en-que-lo-afecta/>

Avatar. (2018). *Energías Renovables en Latinoamérica: Pioneros en el sector.*

<https://avatarenergia.com/energias-renovables-en-latinoamerica/>

Barahona. (2019). *Eficiencia e intensidad energética en Honduras, subsector eléctrico: Antecedentes y situación actual.*

https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/44893/revistas_uva_es__trim_article_view_4202_3271.pdf?sequence=3&isAllowed=y

BBVA. (2019). *¿Qué tipos de energías renovables existen y qué papel juegan?*

<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-tipos-de-energias-renovables-existen-y-que-papel-juegan/>

Berrondo. (2012). *Apuntes de máquinas hidráulicas.*

https://www.academia.edu/26421741/APUNTES_DE_M%C3%81QUINAS_HIDR%C3%81ULICAS

Bertrand & Álvarez. (2019). *Estado Actual de la Energía Hidroeléctrica en Honduras. Análisis del 2007 al 2017.*

Bioenergy. (2021). *Energía renovable para una comunidad rural aislada en Honduras.*

<https://geniabioenergy.com/proyectos-bioenergia/energia-renovable-biomasa-biogas-comunidad-rural-aislada-red-electrica-honduras/>

Brusa. (2010). *Energía minihidráulica Proyecto RES & RUE Dissemination.*

<https://cecu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/4%20minihidraulica.htm>

Cáliz. (2019). *Plan de desarrollo comunitario (PDC) Colonia Suyapa.*

Calixtro. (2020). *Las Energías Renovables y sus ventajas para el futuro.*

<https://ecoarquitect.com/energias-renovables/>

Canchaya & Chero. (2014). *Estudio y diseño a nivel preliminar de una pequeña central hidroeléctrica en el distrito de Comas, provincia de concepción perteneciente al departamento de Junín.*

Canseco. (2010). *ENERGÍAS RENOVABLES EN AMÉRICA LATINA.*

http://plataforma.responsable.net/sites/default/files/1279184521_energias_renovables_en_america_latina.pdf

CentralAmericaData. (2018). *Centroamérica: ¿En qué país es más cara la energía?*

https://m.centralamericadata.com/es/article/home/Centroamrica_En_qu_pas_es_ms_cara_la_energa

DatosMacro. (2019). PIB de Honduras.

<https://datosmacro.expansion.com/pib/honduras#:~:text=Mejora%20el%20PIB%20en%20Honduras%20El%20producto%20interior,2019%20la%20cifra%20del%20PIB%20fue%20de%2022.261M.%E2%82%AC>

Diario. (2019). *El Río Ulúa uno de los más grandes de Honduras*. <https://diarioroatan.com/el-rio-ulua-uno-de-los-mas-grandes-de-honduras/>

EFE. (2011). *Honduras: \$472 millones para mejoras en red de energía*. https://centralamericadata.com/es/article/home/472_millones_para_mejoras_en_red_de_energa

ENEE. (2011). *Plan indicativo de expansión sistema de transmisión y distribución ENEE 2011-2022*. http://enee.hn/Portal_transparencia/planes/Plan_Expansion_transmision.pdf?trust=898211987&format=0

Energies. (2020). *LA ENERGÍA Y EL DESARROLLO DE LA HUMANIDAD*. <https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/la-energia-y-el-desarrollo-de-la-humanidad>

Espinoza. (2021). *ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA ALDEA DE DOLORES MERENDÓN, EN EL DEPARTAMENTO DE OCOTEPEQUE, HONDURAS*. UNITEC.

Fajardo & Sierra. (2011). *Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: Alternativa real de generación eléctrica*.

FAO. (2019). *Estado y perspectivas de los recursos naturales y los ecosistemas en América Latina y*

el Caribe (ALC). <http://www.fao.org/3/ca5507es/ca5507es.pdf>

Florencia. (2016). *Energía Renovable para Comunidades Aisladas*.

<https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/2669/Energ%c3%ada%20Renovable%20para%20Comunidades%20Aisladas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Flores. (2015). *El sector energético de Honduras: Diagnostico y política energética*.

<https://www.researchgate.net/profile/W->

[Flores/publication/264880697_El_sector_energetico_de_Honduras_Diagnostico_y_politica_energetica/links/55f8839508aec948c47fedb7/El-sector-energetico-de-Honduras-Diagnostico-y-politica-energetica.pdf](https://www.researchgate.net/publication/264880697_El_sector_energetico_de_Honduras_Diagnostico_y_politica_energetica/links/55f8839508aec948c47fedb7/El-sector-energetico-de-Honduras-Diagnostico-y-politica-energetica.pdf)

Gaceta. (2014). *Ley general de la industria eléctrica*.

<https://www.tsc.gob.hn/web/leyes/LEY%20GENERAL%20DE%20LA%20INDUSTRIA%20EL%C3%89CTRICA.pdf>

Girón. (2007). *Energía eléctrica: Desarrollo-subdesarrollo* [UNAH].

<https://tzibalnaah.unah.edu.hn/handle/123456789/200>

Global Petrol Prices. (2020). *Electricity prices*.

https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/

Gonzales. (2021). *Buteno*. <https://www.coursehero.com/file/73925360/Butenodocx/>

Goyzueta. (2017). *ESTUDIO Y DISEÑO PARA LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA II ETAPA DEL DISTRITO DE PHARA-SANDIA-PUNO*.

Greenway. (2021). *¿Cuál Es El Rio Mas Caudaloso De Centroamérica?*

GridsInfo. (2021). *Informe de la IEA sobre el papel clave de la energía hidroeléctrica para alcanzar los objetivos climáticos*. <https://www.smartgridsinfo.es/2021/07/02/informe-iea-papel-clave-energia-hidroelectrica-alcanzar-objetivos-climaticos>

Hechos. (2018). *Energía renovable Tecnología solar ilumina comunidades rurales*. <https://presidencia.gob.hn/index.php/gob/el-presidente/4502-energia-renovable-tecnologia-solar-ilumina-comunidades-rurales>

Heraldo. (2019). *Las pérdidas eléctricas de la ENEE crecen a 41.1 por ciento*. <https://www.elheraldo.hn/economia/1265340-466/las-p%C3%A9rdidas-el%C3%A9ctricas-de-la-enee-crecen-a-411-por-ciento>

Hernández. (2020). *Honduras, con mayores pérdidas eléctricas en América Latina: ASJ*. <https://proceso.hn/honduras-el-pais-con-mayores-perdidas-electricas-en-america-latina-asj/>

Hidric. (2021). *Soluciones domésticas para producir energía eléctrica*.

HUB de energía. (2019). *¿Cuánta electricidad se pierde en los sistemas de transmisión y distribución eléctricos?* <https://hubenergia.org/es/indicators/perdidas-de-electricidad-como-porcentaje-de-la-oferta-total-de-electricidad>

Inostroza. (2012). *PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL DE PROYECTOS DE MICRO-REDES CON FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN COMUNIDADES RURALES DEL NORTE DE CHILE* [Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112209/Inostroza%20Javiera.%20Memoria%20de%20t%c3%adtulo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

IRENA. (2020). *GLOBAL LANDSCAPE OF RENEWABLE ENERGY FINANCE 2020*.
<https://www.irena.org/->

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Nov/IRENA_CPI_Global_finance_2020.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Nov/IRENA_CPI_Global_finance_2020.pdf)

Jarauta. (2014). *Las energías renovables*. UOC.

León. (2021). *Las hidroeléctricas crecerán 25% menos en esta década*.

<https://www.cambio16.com/las-hidroelectricas-creceran-25-menos-que-en-la-decada-pasada/>

Levy. (2020). *La calidad del servicio en la provisión de electricidad en América Latina*.

<https://blogs.iadb.org/energia/es/la-calidad-del-servicio-en-la-provision-de-electricidad-en-america-latina/>

Levy & Carrasco. (2020). *CALIDAD Y CONFIABILIDAD DE LOS SERVICIOS ELÉCTRICOS EN AMÉRICA LATINA*.
[https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Calidad-y-](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Calidad-y-confiabilidad-de-los-servicios-electricos-en-America-Latina.pdf)

[confiabilidad-de-los-servicios-electricos-en-America-Latina.pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Calidad-y-confiabilidad-de-los-servicios-electricos-en-America-Latina.pdf)

Lillo. (2016). *Acceso a la energía para el desarrollo humano sostenible. Análisis de proyectos con*

energías renovables y modelos de gestión comunitarios en zonas rurales. [Universidad

Politécnica de Valencia]. [file:///C:/Users/HP/Downloads/LILLO%20-](file:///C:/Users/HP/Downloads/LILLO%20-%20Acceso%20a%20la%20energ%C3%ADa%20para%20el%20Desarrollo%20Humano%20Sostenible.%20An%C3%A1lisis%20de%20proyectos%20con%20Energ...pdf)

[%20Acceso%20a%20la%20energ%C3%ADa%20para%20el%20Desarrollo%20Humano%20Sostenible.%20An%C3%A1lisis%20de%20proyectos%20con%20Energ...](file:///C:/Users/HP/Downloads/LILLO%20-%20Acceso%20a%20la%20energ%C3%ADa%20para%20el%20Desarrollo%20Humano%20Sostenible.%20An%C3%A1lisis%20de%20proyectos%20con%20Energ...pdf)

[0Sostenible.%20An%C3%A1lisis%20de%20proyectos%20con%20Energ... pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/LILLO%20-%20Acceso%20a%20la%20energ%C3%ADa%20para%20el%20Desarrollo%20Humano%20Sostenible.%20An%C3%A1lisis%20de%20proyectos%20con%20Energ...pdf)

Londaño & Pinto. (2017). *DISEÑO DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA PARTIENDO DE UN*

SALTO HIDRÁULICO NATURAL LOCALIZADO EN LA VEREDA JARDÍN DE LAS PEÑAS,

JURISDICCIÓN DEL MUNICIPIO DE MESETAS DEL DEPARTAMENTO DEL META.

Mapa de Honduras. (2019). Cuencas hidrográficas en Honduras.
<https://mapadehonduras.com/informacion>

Maradiaga. (2019). *Plan Grande: La pequeña hidroeléctrica que cambió la vida de una comunidad en Honduras*. <https://es.mongabay.com/2019/08/honduras-hidroelectricas-sustentables/>

Merino. (2014). *Energías renovables para todos*.
<http://media1.webgarden.es/files/media1:4befe784280d2.pdf.upl/E.renovables.pdf>

MITECO. (2020). *GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DEL AGUA. TIPOS DE CENTRALES HIDRÁULICAS Y ELEMENTOS QUE LAS CONFORMAN Y MINICENTRALES HIDROELÉCTRICAS*. https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/sistema-espaniol-gestion-agua/310generaciondeenergiaapartirdelaguatiposdecentraleshidraulicasyelementosquel asconformanyminicentraleshidroelectricas_tcm30-215763.pdf

Montano. (2016). *Energía eléctrica en Honduras: Modelo de operación, crisis y alternativa de desarrollo sustentable*. [UNAH].
https://tzibalnaah.unah.edu.hn/bitstream/handle/123456789/13021/T_MSepd00011.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Ocampo. (2020). *Definición y características generales de las turbinas hidráulicas*.

Patria. (2017). *Energía limpia*. <https://nuestrapatria.wordpress.com/2017/08/08/energia-limpia/>

Pereira. (2019). *ENDEV HONDURAS: 13 AÑOS UNA EXPERIENCIA COMUNITARIA QUE DINAMIZÓ EL ACCESO A LA ENERGÍA EN ZONAS RURALES*.

Prensa. (2018). *Gobierno asegura que "tecnología solar ilumina comunidades rurales"*.

- https://www.laprensa.hn/honduras/1198876-410/gobierno-tecnolog%C3%ADa_solar-ilumina_comunidades_rurales
- Prieto. (2009). *La energía hidráulica*. <https://energiaeficiente.wordpress.com/2009/10/17/la-energia-hidraulica/>
- Rodríguez. (2021). *Sin bajar pérdidas, EEH ha cobrado 16,085 millones de lempiras por costo fijo en 5 años*. <https://www.elheraldo.hn/economia/1481228-466/sin-perdidas-energia-electrica-eeh-costos-fijos-honduras>
- Romero. (2017). *Honduras tiene gran potencial hidroeléctrico*. https://www.laprensa.hn/honduras/1089715-410/honduras-potencial-hidroelectrico-energ%C3%ADa-santa_luc%C3%ADa
- Rychtarcikova. (2016). *¿Cuáles son las causas más comunes de fallos en las centrales hidroeléctricas?* <http://www.sirenaselectronicas.com/cuales-son-las-causas-mas-comunes-de-fallos-en-las-centrales-hidroelectricas/>
- Sadoval. (2018). *Conceptos Básicos de Centrales Hidroeléctricas*.
- Sampieri. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición). <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- SEIA. (2007). *GUÍA METODOLÓGICA PARA DETERMINAR EL CAUDAL AMBIENTAL PARA CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN EL SEIA*. https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2016/guia_caudal_ambiental.pdf
- SVEA SOLAR. (2021). *¿Qué es y cómo funciona la energía mareomotriz?* <https://sveasolar.com/es/blog/energia-mareomotriz/>

- TFG. (2020). *Definición de Variables y Categorías de Análisis*. <https://tutfg.es/variables-y-categorias-de-analisis>
- Tribuna. (2019). *Informe de la CEPAL: Honduras reporta las pérdidas de energía más alta de la región*. <https://www.latribuna.hn/2019/07/21/informe-de-la-cepal-honduras-reporta-las-perdidas-de-energia-mas-alta-de-la-region/>
- Trujillo. (2017). *DISEÑO DE UNA PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA LOCALIDAD DE USME, BOGOTÁ*.
- Vásquez. (2015). *Estudio y diseño de un sistema micro-electrico para generación y abastecimiento de energía eléctrica mediante energía renovable*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10515/1/UPS-CT005495.pdf>
- Vázquez. (2010). *Energía eléctrica, estratégica para la economía*. <https://www.realestatemarket.com.mx/infraestructura-y-construccion/11285-energia-electrica-estrategica-para-la-economia>
- Verdes. (2010). *Vida útil de la tecnología para producción de energía*. <https://www.renovablesverdes.com/vida-util-de-la-tecnologia-para-produccion-de-energia/>
- Vilar. (2010). *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas*.
- Wagner. (2011). *Introduction to hydro energy systems*.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Foto de censo poblacional 2019



Censo Colonia Suyapa 2019

Mediante este formulario se quiere corroborar el crecimiento que ha tenido nuestra colonia en 4 ejes fundamentales, los cuales son: VIVIENDA, FAMILIA, AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO. lo cual ayudara al patronato para tomar las mejores decisiones para el mejoramiento de los mismos.

Identificación

1. Nombre de abonado (a): Julia Hernandez de Bie Cel. 918734671
2. Nombre de Entrevistado(a): Miguel Angel Russo (En caso de tratarse del abonado, pasar a inciso B)
3. Parentesco con abonado (a): Hijo
4. Es socio fundador: Si NO Identidad _____

B. Vivienda

1. Sector de Ubicación El Callejon
2. Existe alguna otra vivienda dentro del solar Si No
3. Esta Vivienda es
 - a) Propia
 - b) Prestada
 - c) Alquilada Apartamento (os)
4. Material de las paredes
 - a) Bloque
 - b) Adobe
 - c) Madera
 - d) Bahareque
 - Repellada SI NO
5. Material del Techo
 - a) Zinc
 - b) Aluzinc
 - c) Teja
 - d) Terraza
 - e) Otro _____
6. Material del Piso
 - a) Tierra
 - b) Cemento
 - c) Mosaico
 - d) Cerámica
 - e) Observaciones _____

C. Familia

1. N° de personas que viven en el hogar 4
2. N° de Hombres 2
3. N° de Mujeres 2
4. N° de Niños _____
5. N° de Niñas _____
- (NN menores de 12 años)
6. N° de Personas de la tercera edad 2 F M
7. N° de Personas con Discapacidad _____
8. Observaciones _____

D. Agua Potable

1. Cuenta con pegue de agua potable SI NO (Si la respuesta es NO continúe en la pregunta N° 3)
2. Numero correlativo del abonado _____
3. De donde toman el agua que consumen _____
4. N° de llaves en la vivienda 13
5. N° de llaves o sanitarios malos 1 Sanitario malo y 1 Huevo Baño
6. Cuenta con piscina SI NO
7. Cuenta con tanque o cisterna de almacenamiento. SI NO
- Observaciones _____

E. Alcantarillado

1. Cuenta con pegue de Alcantarillado SI NO (Si la respuesta es NO continúe en la pregunta N° 3)
2. Numero correlativo del abonado _____
3. Donde desembocan las aguas residuales _____
- Observaciones _____

Firma: [Firma]

N° de Identidad 16071959

6/2/19

Anexo 2. Fotos de trabajo de campo.



Anexo 3. Parámetros de entrada para el cálculo financiero del proyecto

Parámetros de Entrada	
Capacidad Instalada [kW]	60
Costo de Capital Especifico [\$/kW]	\$ 1,704.72
Tasa de Inflación [%]	1.50%
Tarifa de energía eléctrica [\$/kWh]	0.10
Incremento Anual en a tarifa [%]	1.50%
Costo por O&M [\$]	\$ 16,288.16
Costo Capital Total [\$]	\$ 102,283.00
Inversión de Fondos Propios [%]	30%
Inversión de Fondos Propios [\$]	\$ 30,684.90
Tasa de interés fondos Propios [%]	16%
Deuda [%]	70%
Deuda [\$]	\$ 71,598.10
Tasa de Interés Préstamo [%]	8.50%
Plazo de préstamo [años]	10
Tasa impositiva ISR [%]	25%
Seguros [\$]	\$ 10,228.30
Inversión Social y ambiental [\$]	\$ 4,091.32
Vida útil del proyecto [años]	30
Tasa de descuento [%]	10.75%
Costo Capital Promedio Ponderado [%]	10.75%

Anexo 4. Vistas geográficas del sistema SCADA



Anexo 5. Cálculo de caudal promedio mensual año 2015

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
27	18	29	6	3	8	5	31	6	8	10	2
0.99	1.82	0.98	1	0.96	1	1	1	1	1	1	1
17.61	7.055	16.85	18.4	15.38	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18
16	28	12	29	19	28	16	21	30	18	6	28
0.7	0.64	0.61	0.57	0.55	0.73	0.7	0.66	0.7	0.75	0.7	0.72
2.57	1.19	0.71	0.27	1.13	3.47	2.57	1.59	2.57	4.15	2.571	3.15
5.14	3.052	2.049	2.2	1.84	7.24	8.27	4.89	6.6	7.92	6.76	7.11
1.91	1.139	0.76	0.82	0.689	2.7	3.09	1.82	2.46	2.95	2.52	2.66
14.24	11.086	8.12	6.03	5.49	20.19	7.1	25.14	42.02	37.86	31.85	23.3
22.95	14.72	10.85	8.62	8.75	66.31	55.18	80.65	118.1	147.64	31.67	33.35
13.76	7.64	5.48	5.72	4.94	19.39	21.45	13.1	17.12	21.22	17.52	17.83
5.14	2.85	2.04	2.13	1.84	7.23	8.01	4.89	6.39	7.92	6.54	6.65
10.67	8.10	7.45	6.73	5.30	15.22	12.23	17.01	20.95	22.98	11.29	11.98

Anexo 6. Cálculo del consumo promedio de energía eléctrica por hogar de la colonia

PROMEDIO DE DEMANDA POR HOGAR AL DÍA							
Aparato eléctrico	Cantidad	Potencia	Factor de Carga	Potencia instantánea	Horas de uso	Consumo al día [Wh]	Consumo al día [kWh]
SALA							
Focos Pequeños	5	14	0.96	67.2	3.25	218.40	0.2184
Televisión	2	100	0.25	50	3.25	162.50	0.1625
Router	1	7	0.74	5.18	24.00	124.32	0.12432
COCINA							
Focos Pequeños	2	14	0.96	26.88	3.13	84.00	0.084
Refrigeradora	1	250	0.42	105	24	2520.00	2.52
CUARTOS							
Focos Pequeños	5	14	0.96	67.2	3.25	218.40	0.2184
Ventilador	2	70	0.17	23.8	8.25	196.35	0.19635
PARTE DE AFUERA							
Lavadora	1	750	0.25	187.5	2.25	421.88	0.421875
TOTAL							3.95
TOTAL AL MES							118.38