



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**PREFACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE BOMBEO Y GENERACIÓN ELÉCTRICA USANDO
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA POR BOMBEO EN
TERRENOS ESCARPADOS**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIEROS EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

21741310 KATTY ISABEL GARCÍA COLINDRES

21651074 RENIERY ADALID VILLANUEVA PACHECO

ASESOR: PHD. HÉCTOR VILLATORO

CAMPUS SAN PEDRO SULA; JUNIO 2021

AGRADECIMIENTO

Agradecemos principalmente a nuestros padres por darnos la oportunidad de realizar nuestros estudios universitarios y por apoyarnos y motivarnos día a día en todos los obstáculos a lo largo del camino académico. Agradeciendo al Ing. Héctor Villatoro por inculcar valores como disciplina, responsabilidad y compromiso; siendo un pilar en el desarrollo de esta investigación. Agradeciendo también a los compañeros y catedráticos por su disposición a ayudarnos cuando se les solicitó colaboración.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres, Elizabeth Colindres y Carlos Aguilar, y a mi tía Yamileth Colindres. Gracias por sus esfuerzos, tiempo y paciencia. Ustedes me han traído hasta este punto; sin ustedes este logro no sería posible.

Katty

Este proyecto se la dedico a mis padres, Irma Pacheco y Adalid Villanueva, a mi hermana Osdy y a mi amigo y hermano Santiago. Gracias por su apoyo incondicional en todos estos años de duro trabajo. Este logro es por ustedes.

Renier

RESUMEN

Según un estudio realizado en el 2016 por el Instituto Nacional de Estadística Honduras (INE), en Honduras el 56.1% de la población vive en el área rural, y dicho sector se dedica principalmente a la agricultura. Los agricultores tienen la necesidad de abastecerse de agua y electricidad para operar sus fincas correctamente. Aproximadamente un 20% de esta población agricultora no cuenta con energía eléctrica ya que no se encuentran cerca de las redes de distribución eléctrica y por esto mismo se les dificulta un riego de cultivos apropiado. Esta dificultad aumenta aún más cuando las fincas están localizadas en terrenos escarpados. En Honduras el 53.9% de la población agricultora está ubicada en terrenos montañosos. Esta investigación se centró en una finca ubicada en una aldea llamada La Germania 1. Se diseñó un sistema fotovoltaico que se encargará de abastecer de energía eléctrica a una bomba centrífuga. El agua succionada por la bomba se transportará a un estanque de almacenamiento el cuál se encargará de abastecer diariamente de agua a árboles de aguacate y una micro-turbina Kaplan; la cual generará energía eléctrica para abastecer de electricidad a unas bodegas e iluminación a exteriores y accesos de la finca. El estanque tendrá una capacidad de abastecimiento para tres días, con un volumen de 13,200 m³; ya que la energía fotovoltaica es intermitente, y es necesario diseñar un sistema de almacenamiento que brinde una autonomía y no interrumpa el riego en la finca. La turbina eléctrica tendrá una potencia de 10 kW y trabajará por la noche y está trabajará para iluminar por 12 horas teniendo un horario de 6:00 PM – 6:00 AM. Se espera que esta investigación pueda ser de mucha utilidad y sirva de pauta para proyectos privados o gubernamentales que se planean llevar a cabo en terrenos montañosos y con ríos aledaños. Se pretende causar un impacto positivo en fincas y comunidades que tengan esta problemática, y de la misma manera incentivar la generación de energía eléctrica por fuentes renovables.

Palabras clave: Bomba centrífuga, sistema fotovoltaico, estanque, cultivos de aguacate, turbina Kaplan, autonomía, iluminación.

ABSTRACT

According to a study carried out in 2016 by the Honduras National Institute of Statistics (INE), in Honduras 56.1% of the population lives in rural areas, and this sector is mainly dedicated to agriculture. Farmers have a need for water and electricity supplies to properly operate their farms. Approximately 20% of this agricultural population does not have electricity since there are not close to electricity distribution networks and for this reason it is difficult for them to irrigate appropriate crops. This difficulty increases even more when the farms are located on steep terrain. In Honduras 53.9% of the agricultural population is located in mountainous terrain. This research focused on a farm located in a village called La Germania 1. A photovoltaic system was designed that will be responsible for supplying electricity to a centrifugal pump. The water sucked in by the pump will be transported to storage pond which will be in charge of supplying water to avocado trees on a daily basis and a Kaplan micro-turbine; which will generate electrical energy to supply electricity to some warehouses and lighting to the exteriors and accesses of the farm. The pond will have a supply capacity for three days, with a volume of 13 200 m³; since photovoltaic energy is intermittent, and it is necessary to design a storage system that provides autonomy and does not interrupt irrigation on the farm. The electric turbine will have a power of 10 kW and will work at night and it will work to illuminate for 12 hours taking into account schedule of 6:00 PM – 6:00 AM. The research is expected to serve as guideline for projects planned to be carried out in mountainous terrain and with nearby rivers. It is intended to cause positive impact by encouraging the generation of electricity from renewable sources.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	17
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
2.1	ANTECEDENTES	21
2.2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	21
2.3	JUSTIFICACIÓN	22
2.4	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	23
III.	OBJETIVOS	24
3.1	OBJETIVO GENERAL	24
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
IV.	MARCO TEÓRICO	25
4.1	ESTUDIOS DE CAMPO PREVIO A ANÁLISIS TÉCNICOS DEL PROYECTO	25
4.2	ANTECEDENTES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	26
4.3	APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	28
4.3.1	Aplicación de Energía Solar Fotovoltaica en la Red	29
4.3.2	Aplicación de Energía Solar Fotovoltaica Aislado	29
4.4	SELECCIÓN TIPO DE MÓDULO SOLAR	31
4.5	MECÁNICA DE FLUIDOS	32
4.6	ANTECEDENTES DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA	33
4.7	APLICACIONES DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA	34
4.7.1	Aplicación de Energía Hidráulica en la Red	35
4.7.2	Aplicación de Energía Hidráulica Aislado.	36
4.8	SELECCIÓN DE TIPO DE TURBINA PARA UNA MICRO-HIDROELÉCTRICA	36
4.8.1	Determinar La potencia de Demanda para la Generación de Energía Eléctrica	37

4.8.2	Selección de Turbina en Base a la Capacidad de Almacenamiento de Agua	38
4.8.3	Componentes de la turbina Kaplan	38
4.8.4	Ventajas de Turbina Kaplan.....	39
4.8.5	Desventajas de Turbina Kaplan.....	40
4.9	SISTEMA DE RIEGO PARA AGRICULTURA.....	40
4.9.1	Demanda Hídrica Para Cultivo De Aguacates.....	40
4.10	DISEÑO DE ESTANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA PARA ABASTECER EL SISTEMA DE RIEGO Y PARA ALIMENTAR LA TURBINA GENERADORA DE ELECTRICIDAD	41
4.11	DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN	41
4.12	TRANSFORMADORES PARA ELEVACION DE VOLTAJE	41
V.	METODOLOGÍA	43
5.1	ENFOQUE	43
5.2	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	44
5.2.1	Variables Independientes.....	45
5.2.2	Variables Dependientes.....	48
5.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS.....	52
5.3.1	Instrumentos:.....	52
5.4	MATERIALES	53
5.5	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	55
5.6	METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....	56
5.7	METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN.....	59
5.7.1	Demanda Hídrica de los Árboles de Aguacates	59
5.7.2	Bomba para el Transporte de Agua al Estanque.....	60

5.7.3	Selección de Turbina.....	63
5.7.4	Selección de Turbina Kaplan.....	64
5.7.5	Demanda Hídrica de la Turbina Kaplan.....	66
5.7.6	Dimensionar el Volumen del Estanque.....	67
5.7.7	Selección de Módulo Solar Fotovoltaico	67
5.7.6.	Análisis Financiero	71
5.8	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	72
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
6.1	CÁLCULO DE LA DEMANDA HÍDRICA DE LOS CULTIVOS DE AGUACATES.....	73
6.2	CÁLCULOS PARA LA SELECCIÓN DE BOMBA PARA EL TRANSPORTE DE AGUA AL ESTANQUE.....	73
6.2.1	Pérdidas Primarias en Tubería de Bombeo	75
6.2.2	Cálculo de las Pérdidas Primarias en Tubería de Bombeo	76
6.2.3	Pérdidas Secundarias en Tubería de Bombeo.....	76
6.2.4	Cálculo de la Altura Manométrica	79
6.2.5	Cálculo del Caudal a Bombear	79
6.2.6	Cálculo del ANPA (Altura Neta Positiva en la Aspiración).....	81
6.3	CÁLCULOS PARA SELECCIÓN DE TURBINA	83
6.3.1	Velocidad Específica (Ns)	83
6.3.2	Cálculo de la Velocidad Específica de la Turbina.....	84
6.3.3	Energía Eléctrica Generada por la Turbina	84
6.3.4	Cálculo del Perdidas Por Tubería para la Turbina Kaplan.....	85
6.3.5	Cálculo de la Energía Eléctrica Generada por la Turbina	86
6.3.6	Cálculo del $co Q/Q_{diseño}$	87
6.3.7	Cálculo de Demanda Hídrica de la Turbina Kaplan.....	89

6.3.8	Dimensionamiento del Estanque.....	89
6.4	SELECCIÓN DE MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A LA BOMBA CENTRÍFUGA.....	90
6.4.1	Selección de Inversor para el Arreglo Solar Fotovoltaico.....	92
6.4.2	Distribución de los Módulos Solares en los Inversores.....	93
6.4.3	Capacidad de Almacenamiento de Baterías.....	100
6.5	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LA FINCA.....	100
6.6	Análisis Financiero.....	102
VII.	CONCLUSIONES	107
VIII.	APLICABILIDAD.....	109
IX.	RECOMENDACIONES	110
X.	CONOCIMIENTOS APLICADOS	111
XI.	BIBLIOGRAFÍA	112
XII.	ANEXOS	116

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Mapa topográfico de Honduras.....	17
Ilustración 2 Ejemplo de Cultivos en Laderas.....	22
Ilustración 3 Municipio de Siguatepeque donde se realizará la Investigación.....	25
Ilustración 4 Ubicación de Aldea La Germania 1.....	26
Ilustración 5 Capacidad Energética Instalada.....	27
Ilustración 6 Irradiación Global de Honduras.....	28
Ilustración 7 Sistema Solar Fotovoltaico conectado a la red.....	29
Ilustración 8 Esquema de Sistema Solar Fotovoltaico Aislado.....	31
Ilustración 9 Central Hidráulica de Bombeo.....	33
Ilustración 10 Esquema de una Central Hidroeléctrica conectada a la Red.....	35
Ilustración 11 Esquema Eléctrico de Micro Central Hidroeléctrica.....	36
Ilustración 12 Rodete de Turbina Kaplan.....	39
Ilustración 13 Diagrama de Distribución del Sistema de Tuberías.....	44
Ilustración 14 Variables Técnicas Independientes.....	45
Ilustración 15 Variables Económicas Independientes.....	47
Ilustración 16 Variables Técnicas Dependientes.....	48
Ilustración 17 Variables Económicas Dependientes.....	50
Ilustración 18 Mapa de Elevaciones en Siguatepeque.....	55
Ilustración 19 Mapa de Hidrografía en Siguatepeque.....	56
Ilustración 20 Diagrama de Procesos.....	57
Ilustración 21 Ábaco Para Selección de Turbina Hidroeléctrica.....	63
Ilustración 22 Curva Operativa de la Bomba.....	80
Ilustración 23 Curva de Operación de Turbina Kaplan.....	85
Ilustración 24 Producción Mensual del Primer Año.....	92

Ilustración 25 Ejemplo de Inversores.....	98
Ilustración 26 Perfil de Carga del Sistema de Iluminación.....	102
Ilustración 27 Retorno de la Inversión.....	106
Ilustración 28 Lámpara LEDs de 90 Watts.....	116
Ilustración 29 Plano Topográfico del Terreno a Utilizar.....	117
Ilustración 30 Sistema de Riego Por Canales.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de las Plantas Hidroeléctricas.....	34
Tabla 2 Tipo de Turbina en base a Velocidad Específica.....	64
Tabla 3 Características de las Turbinas Convencionales.....	64
Tabla 4 Cronograma de Actividades.....	72
Tabla 5 Coeficiente de Fricción de acuerdo al material.....	74
Tabla 6 Pérdidas Secundarias por Accesorios.....	77
Tabla 7 Disminución de la Presión Atmosférica.....	81
Tabla 8 Aumento de Carga de Presión.....	82
Tabla 9 Tipos de Montajes de los Módulos Solares.....	95
Tabla 10 Inventario de Cargas.....	101
Tabla 11 Perfil de Carga.	101
Tabla 12 Presupuesto de la Inversión Inicial del Proyecto.	103
Tabla 13 Ingresos y Egresos del Proyecto.	104
Tabla 14 Parámetros Financieros.....	106
Tabla 15 Coeficiente de Accesorios.	119
Tabla 16 Coeficiente de Accesorios.	120

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Cantidad de Módulos.....	31
Ecuación 2 Valor Presente Neto.	50
Ecuación 3 Tasa de Retorno.....	51
Ecuación 4 Retorno Sobre la Inversión.	52
Ecuación 5 Demanda Hídrica de Cultivo Aguacates.....	60
Ecuación 6 Factor de Fricción.....	60
Ecuación 7 Ecuación de Pérdidas Primarias por Método de Darcy-Weisbach.....	61
Ecuación 8 Pérdidas Secundarias.....	61
Ecuación 9 Altura Manométrica.	62
Ecuación 10 ANPA Disponible.....	62
Ecuación 11 Velocidad Específica.....	65
Ecuación 12 Potencia Real Generada.	65
Ecuación 13 Área Transversal de la Tubería.....	65
Ecuación 14 Velocidad del Agua en la Tubería para Turbina.	66
Ecuación 15 Ratio $Q/Q_{\text{diseño}}$.....	66
Ecuación 16 Demanda Hídrica de Turbina.	66
Ecuación 17 Volumen del Estanque	67
Ecuación 18 Ratio DC/AC	68
Ecuación 19 Capacidad Nominal en DC del Arreglo Solar.	68
Ecuación 20 Número Mínimo de Módulos.....	69
Ecuación 21 Voltaje Mínimo del Módulo Fotovoltaico.....	69
Ecuación 22 Número Máximo de Módulos.....	69
Ecuación 23 Voltaje Máximo del Módulo Fotovoltaico.....	70
Ecuación 24 Número Máximo de Cadenas Recomendadas en Paralelo.....	70

Ecuación 25 Ratio <i>DCAC</i> por Inversor.....	70
Ecuación 26 Ratio Costo-Beneficio del Proyecto.....	71

I. INTRODUCCIÓN

Honduras se encuentra cubierta aproximadamente por un 82% de montañas en el territorio nacional (FAO, 1969), llevando a una parte de la población a tener la dificultad de conectarse a la red eléctrica nacional, y en el caso de Grupo Agro los sistemas de distribución se encuentran a aproximadamente 20 km de distancia. Esta problemática afecta principalmente a la zona rural y por consiguiente al sector agricultor. En su mayoría los cultivos son sembrados en laderas y los ríos para fuente de riego suelen ser de difícil acceso por la inclinación de los terrenos montañosos. En la **Ilustración 1** aparecen las diferentes elevaciones en Honduras.

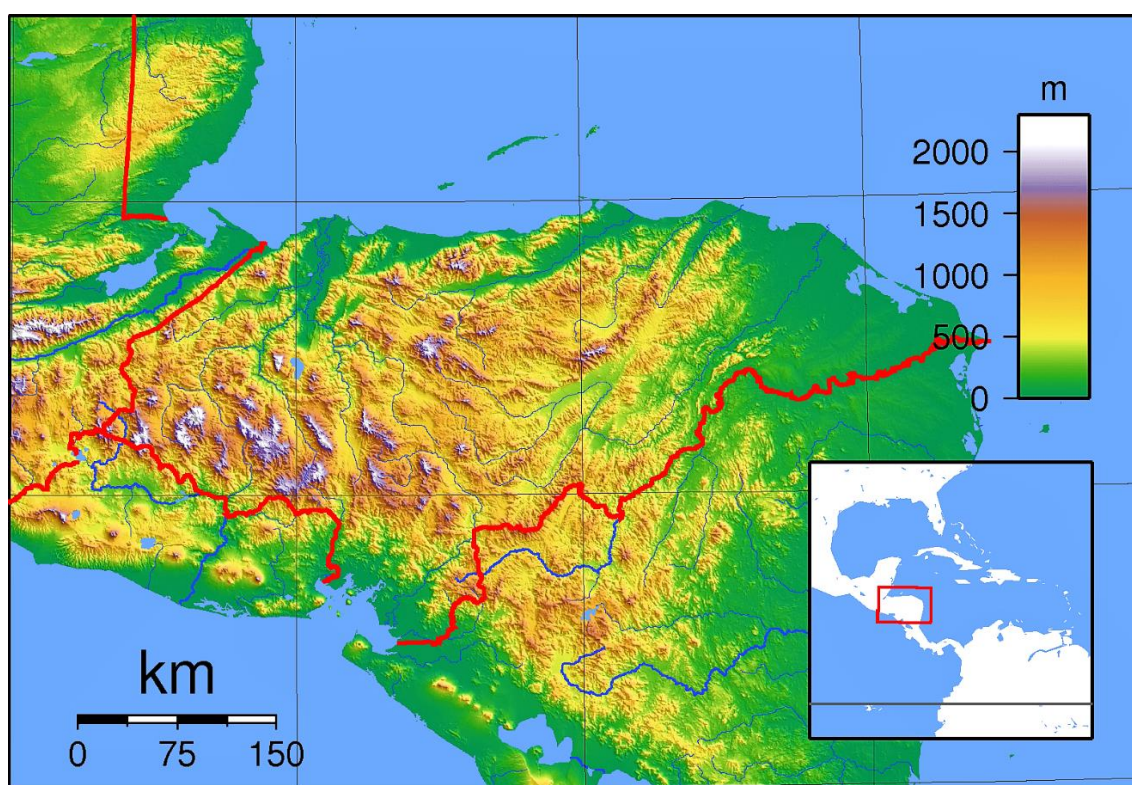


Ilustración 1 Mapa topográfico de Honduras

Fuente: Mapamundi

Estas circunstancias obligan a la comunidad o finca a invertir en bombas eléctricas a base de gasolina, o en el peor de los casos no se logra abastecer los cultivos con el riego de agua. Partiendo de este escenario el transporte de agua es un recurso obligatorio

para la operación de fincas y comunidades agricultoras; y debido a esto se busca constantemente diferentes alternativas sostenibles.

Las necesidades crecientes de energía eléctrica se manifiestan en todas partes del territorio nacional, aún más en sectores rurales y aislados en la que la red eléctrica no puede llegar. Las nuevas tecnologías y fuentes de energía renovable brindan nuevas alternativas para la generación de energía eléctrica como la energía solar y la energía hidráulica.

De acuerdo a la NHA (Asociación Nacional de Energía Hidroeléctrica, en Estados Unidos), existen aproximadamente 60 proyectos en construcción de almacenamiento de energía por bombeo, alrededor del mundo como ser en Europa, India, China y Japón, estos proyectos han sido incorporados la modalidad de lazo cerrado, donde generan flujos de agua entre reservorios que se encuentran cerrados, lo cual tiene un menor impacto ambiental (Núñez, 2014). En la Universidad de los Andes, Colombia (Orozco, 2013) se diseñó un sistema de implementación de la bomba centrífuga en operación como turbina; realizando un acople de un generador para realizar curvas de generación de energía eléctrica en corriente directa. En Perú (Fernandez, 2015) se realizó un análisis de acoplamiento de una bomba centrífuga y bomba de diafragma a un sistema de fotovoltaicos, logrando determinar los generadores destinados a accionar los diferentes sistemas seleccionando conjuntos de motores y bombas que son adecuados para cada situación, analizando el desempeño para el sistema de bombeo; realizando mejores configuraciones de generadores fotovoltaicos destinados a operar en conjuntos formados por motores de bomba, así como las eficiencias de las bombas y la conversión fotovoltaica. En Colombia se realizó una caracterización de una bomba centrífuga sumergible para sistemas de bombeo solar fotovoltaico, aplicándose en países en desarrollo; permitiendo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, presentando a la vez soluciones para servicios básicos como el suministro de energía y agua potable (Guzmán). En Bélgica se realizó una implementación de sistema de abastecimiento de agua mediante bombas solares, incorporando un sistema determinado en el que se aporte un ahorro energético; se mostrarán diferentes tipos de captación de agua, dándose a conocer lo más importante en una instalación fotovoltaica y los tipos, también se realizará un análisis comparativo entre la aplicación de un sistema

de captación de agua con bomba solar y otro con electrobomba (Bustamante & Chávez, 2018). La IEEE realizó un compromiso robusto de la unidad con la energía eólica y el almacenamiento por bombeo proporcionando un cronograma de compromiso unitario sólido para los generadores térmicos en el mercado diario que minimice el costo total en el peor escenario de producción de energía eólica, incluyendo el peor de los casos y protegiendo este escenario con un incremento mínimo de costos (IEEE, 2011). En Italia y España se realizó una contribución de almacenamiento de electricidad, evaluando el almacenamiento por bombeo, realizando un análisis para evaluar la flexibilidad más rentable, incluyendo la posibilidad de mejorar las instalaciones existentes (Rangoni, 2012). En Colombia se diseñó un sistema diesel-fotovoltaico-eólico con baterías y almacenamiento por bombeo hidráulico utilizando una técnica de optimización combinatoria, el algoritmo de ramificación y corte, diseñando una microrred aislada híbrida en una comunidad colombiana, presentando comparación entre diseños obtenidos con algoritmos de rama y corte, el software HOMER y un algoritmo genético (Ruiz, Márquez, & Espinosa, 2017).

La presente investigación establece un sistema fotovoltaico e hidroeléctrico capaz de suplir la demanda eléctrica e hídrica de la finca de Grupo Agro. Para realizar proyectos similares, en la parte hidráulica se deberá contar con la altura mínima de 10 metros para la generación de energía hidráulica y con recursos hídricos cercanos para el abastecimiento de agua para el riego de cultivos de árboles de aguacate y para la turbina Kaplan. Este trabajo estará ubicado en un terreno escarpado que cuenta con una diferencia de altura manométrica de 105 metros columna de agua y además de esto el río se encuentra a 150 metros longitudinales del estanque.

Se utilizó Helioscope, para simular el arreglo solar y verificar que se podrá alimentar la bomba, en AutoCAD se realizaron planos topográficos para lograr diferenciar los desniveles y las distancias de las tuberías y se utilizó Excel para realizar cálculos de la generación de energía eléctrica y cálculos del análisis financiero.

El resto del documento se estructura de la siguiente manera: Capítulo dos, el cual es el planteamiento del problema donde se muestra el problema a solucionar y su justificación. Capítulo tres son los objetivos, los cuales dan el orden lógico por el cual se diseñará el proyecto. Capítulo cuatro es el marco teórico, donde aparecen los conceptos

básicos de la investigación. Capítulo cinco es la metodología y validación del diseño del proyecto. Capítulo seis son los resultados, en donde se obtienen datos cuantitativos que determinan la pre-factibilidad del proyecto. Capítulo siete son las conclusiones.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección se presentará el problema a resolver y desglosará en las siguientes componentes: Antecedentes del problema, definición del problema, preguntas de investigación y justificación.

2.1 ANTECEDENTES

En Honduras es mayor la importación de combustibles, maquinaria y materiales de construcción; siendo así la exportación de cultivos como el cacao, banano, y café una de las mayores fuentes de ingresos per cápita de Honduras. La exportación se desglosa por el sector de las maquiladoras y los productos agrícolas tradicionales; como el café (20.6%), banano (11.2%) y aceite de palma (7.6%). (Derlagen, Paolo De Salvo, Egas, & Pierre, 2019)

Sin embargo; hay fincas que se encuentran en terrenos escarpados siendo un aproximado de 82% del territorio nacional está cubierto por montañas (FAO, 1969), y uno de los grandes problemas en esos lugares es la insuficiencia de agua. La Germania 1 es una zona cafetalera en el sector central del país, dicho sector se encuentra ubicado entre los límites del departamento de Intibucá y los límites del departamento de Comayagua, esa es una zona donde se encuentra la agricultura y la ganadería. La mayoría de los aldeanos confirman que en ese sector la dificultad más común con la que se enfrentan los agricultores es lograr abastecer de agua sus cultivos de forma estable y duradera, sin embargo, los desniveles de los terrenos son un conflicto a la hora de transportar el agua.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente las fincas tienen dificultad para riego de cultivos, esto se dificulta más cuando sus terrenos son escarpados o muy inclinados. GrupoAgro es una empresa constituida hace apenas tres años, esta empresa se dedica a la agricultura con productos como el aguacate. Dicha empresa se encuentra con obstáculos para diseñar un sistema que pueda abastecer agua y electricidad.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Debido a que la mayor parte del territorio nacional se encuentra con montañas, la economía del país es por medio de la agricultura y ganadería (Derlagen, Paolo De Salvo, Egas, & Pierre, 2019).



Ilustración 2 Ejemplo de Cultivos en Laderas.

Fuente: Manual Práctico para construcciones de terrazas agrícolas, 2018.

Las fincas se encuentran sin el servicio público de agua potable, diariamente los agricultores buscan la manera fácil y rápida para transportar el agua hacia sus cultivos; tomando en consideración que no todos los agricultores cuentan con bomba eléctrica que se alimenta por combustible y tampoco tienen la facilidad para transportarse a comprar la materia prima a las gasolineras. El sector donde se ubica la finca de Grupo Agro no tiene energía eléctrica ni agua potable, este proyecto se puede implementar para ese tipo de necesidades.

El trabajo pretende mostrar una perspectiva desde el punto de vista de la ingeniería para solucionar problemas técnicos y financieros para abastecerse de agua y electricidad, obstáculos con los cuales se enfrentan muchos empresarios, comunidades y agricultores a lo largo de todo Honduras. Esta investigación será una base para demostrar que los sistemas híbridos de energía son una solución viable para abastecer de electricidad y agua.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuál será la demanda hídrica para el riego de cultivos?
2. ¿Cuál será la demanda eléctrica de la bomba?
3. ¿Cuál será la demanda eléctrica de la bodega?
4. ¿Qué diseño de sistema fotovoltaico se utilizará para suplir la demanda de la bomba?
5. ¿Cuál será el recorrido del sistema hidráulico para el almacenamiento de agua?
6. ¿Cómo será el diseño del estanque para almacenamiento de agua?
7. ¿Cuál será el diseño del sistema hidráulico para el almacenamiento de agua?
8. ¿Cómo será el diseño del sistema de riego?
9. ¿Qué turbina se utilizará para la generación de energía?
10. ¿Cómo se dimensionará el sistema de generación de energía?
11. ¿Cuál será el costo beneficio del proyecto?
12. ¿Qué tan factible resultara el VAN, ROI y TIR en el proyecto?

III. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la prefactibilidad de un sistema híbrido de bombeo y generación eléctrica a base de energía solar fotovoltaica y almacenamiento de energía por bombeo (Hydro-pumped Storage) en terrenos escarpados, para abastecimiento continuo de agua y electricidad a las personas que tienen fincas en los diferentes lugares de Honduras.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Calcular la demanda diaria hídrica para el riego de cultivos.
- ✓ Calcular la demanda diaria eléctrica de iluminación de las bodegas.
- ✓ Dimensionar la turbina necesaria para proveer la electricidad demandada por la bodega.
- ✓ Calcular la demanda diaria hídrica de la turbina que proveerá la demanda de electricidad cuando se utilice el almacenamiento del Hydro-Pump Storage.
- ✓ Dimensionar el estanque necesario para almacenamiento de agua en base a una autonomía de tres días.
- ✓ Calcular la demanda eléctrica de la bomba que suministrará el agua necesaria a el estanque de almacenamiento.
- ✓ Diseñar el sistema fotovoltaico que alimente la bomba y pueda suplir 1/3 de la capacidad de almacenamiento del estanque en un día (8 horas de sol).
- ✓ Diseñar la red del sistema hidráulico para alimentación de la turbina y sistema de riego.
- ✓ Diseñar el sistema de riego en base a la demanda hídrica y un balance de presión manual.
- ✓ Realizar Análisis Financiero de costo beneficio.
- ✓ Calcular el VAN, ROI y TIR.

IV. MARCO TEÓRICO

Cuando ya se tiene definido el problema para resolver la investigación, se prosigue a saber cuáles son los conceptos básicos y necesarios para poder validar la investigación. Logrando que el lector comprenda como está desglosada la investigación.

4.1 ESTUDIOS DE CAMPO PREVIO A ANÁLISIS TÉCNICOS DEL PROYECTO

En los estudios iniciales se deben de tomar en cuenta varias consideraciones para poder realizar el proyecto de generación de energía eléctrica, como saber cuál es la presión del río, la medida del terreno, si es un terreno escarpado o plano. Con estos datos se podrá saber cuál será la capacidad del proyecto, la generación anual y cuánta agua se necesita lograr abastecer en el lugar donde se desea implementar.

Este proyecto se realizará en el municipio La Germania 1, Siguatepeque, Honduras.



Ilustración 3 Municipio de Siguatepeque donde se realizará la Investigación.

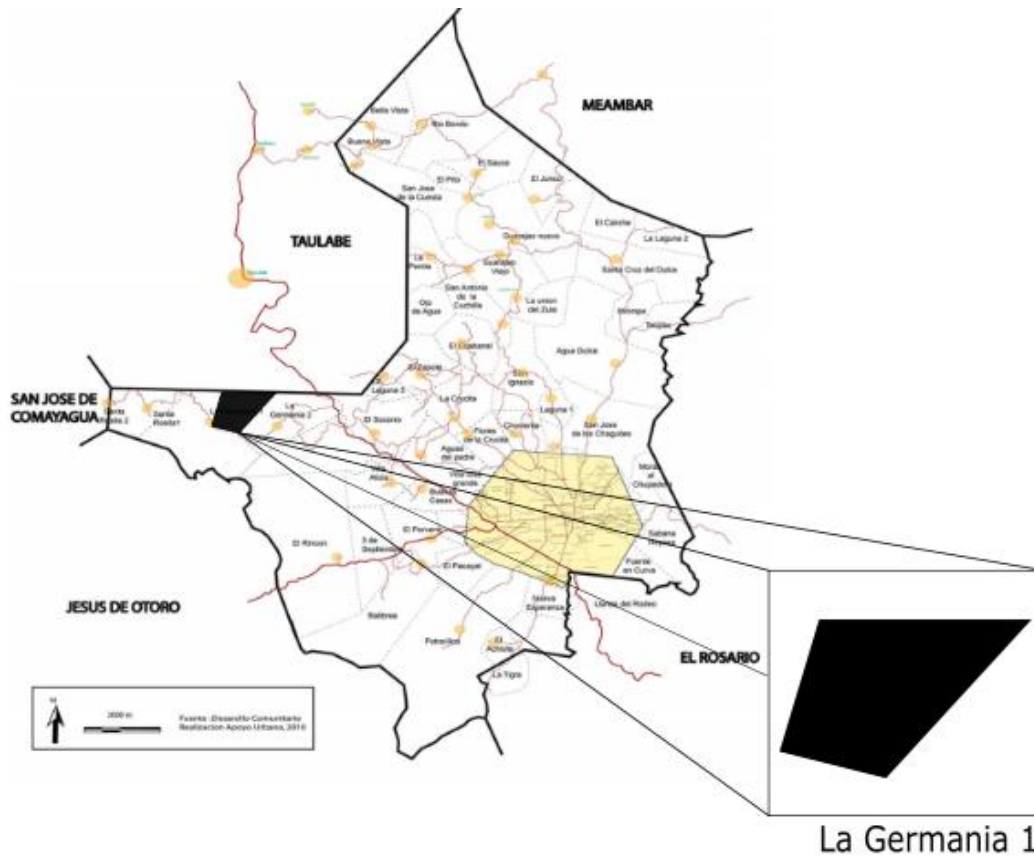


Ilustración 4 Ubicación de Aldea La Germania 1.

4.2 ANTECEDENTES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

El sistema interconectado nacional de Honduras actualmente tiene una capacidad instalada de 2,575.6 MW por el cual, está constituido como se muestra en la **Ilustración 4:**

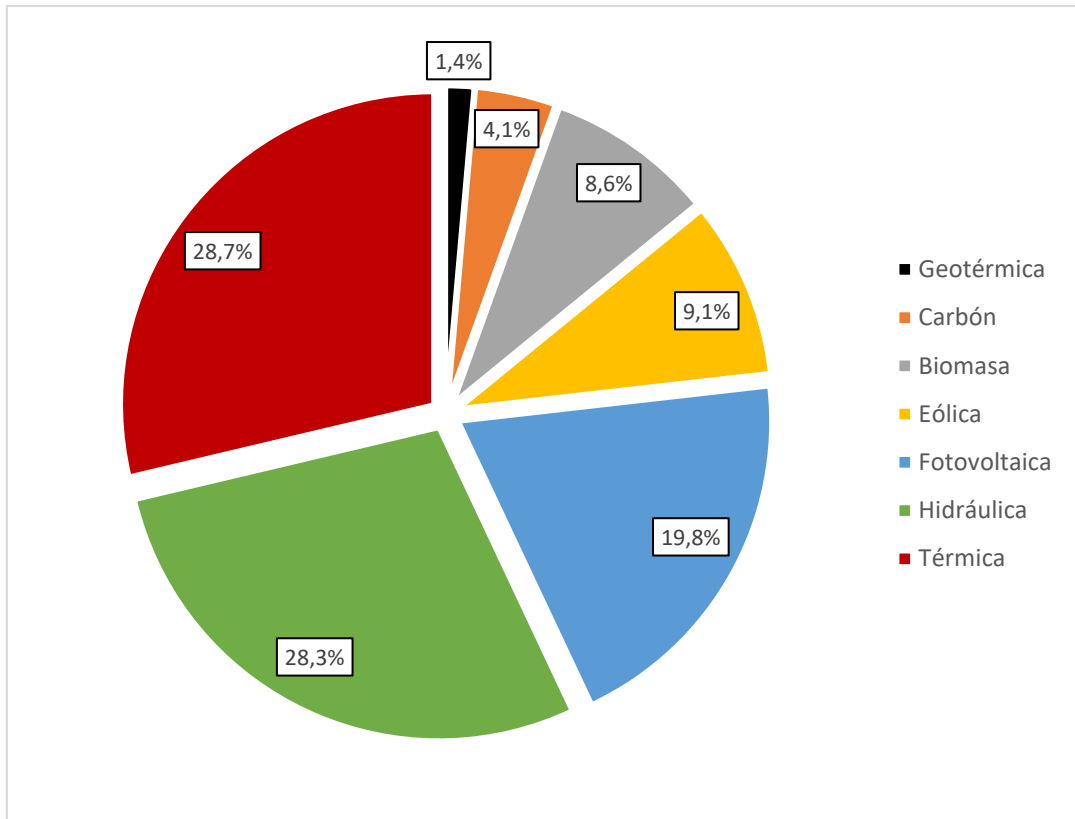


Ilustración 5 Capacidad Energética Instalada.

Fuente: Elaboración propia con datos de (ENEE, 2020)

Honduras es uno de los 148 países en el ámbito mundial que cuenta con mejor potencial para la generación de energía solar; sin embargo, el país apenas en el 2015 se instalaron 338 MW y se realizan las primeras inversiones de energía fotovoltaica, empezándose a utilizar este tipo de energía renovable. En la actualidad solo esta representa casi 36% de la matriz energética nacional. En Honduras, Choluteca y Valle son las zonas que se encuentran con mayor potencial para la generación eléctrica, se registra que en 365 días completos tienen un promedio anual máximo de 8.4 horas de sol en esos sectores. (Fuentes, 2010)

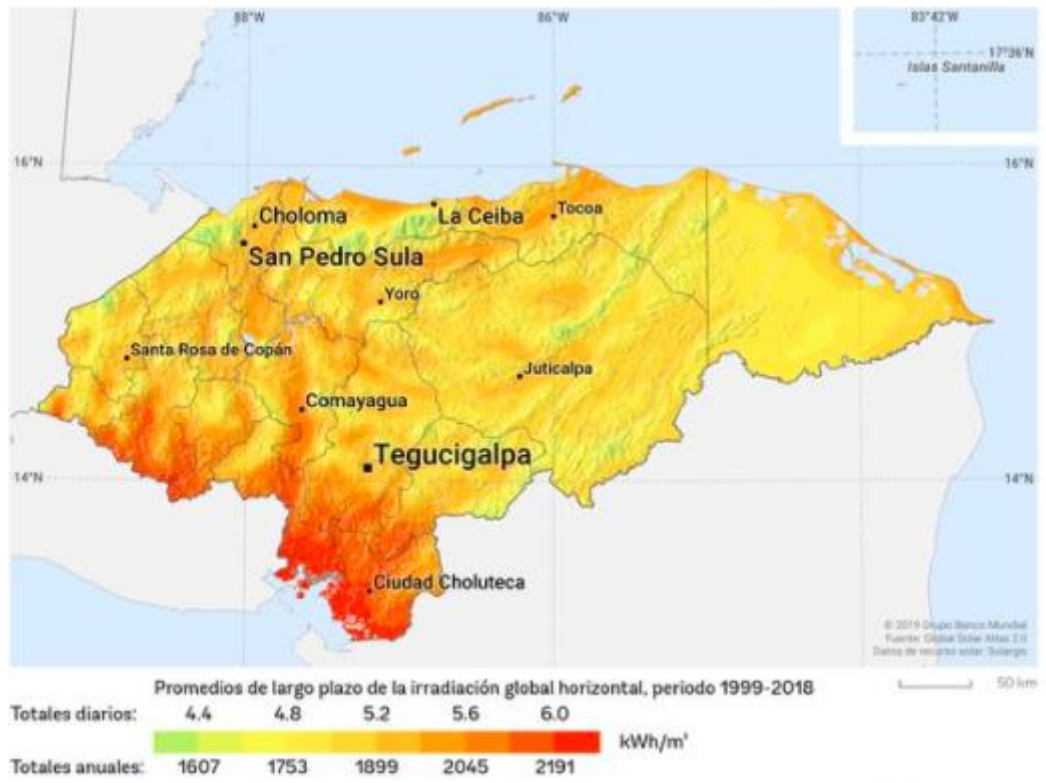


Ilustración 6 Irradiación Global de Honduras

Fuente: (The World Bank, 2017)

4.3 APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica consiste en aprovechar la radiación solar que es transformada directamente en electricidad mediante el efecto fotovoltaico (Rasero, 2011).

4.3.1 APLICACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA RED

Un Sistema Solar Fotovoltaico conectado a la red (SFCR) consiste en que el generador fotovoltaico acoplado a un inversor opera en paralelo en la red eléctrica. El SFCR se puede utilizar desde una casa de habitación que consume unos 100 kWh al mes hasta una gran empresa que consume gran cantidad de Megavatio. (Peña & Gomez Segura)

En la **Ilustración 6**, se aprecia cómo está distribuido el Sistema Solar Fotovoltaico conectado a la red.

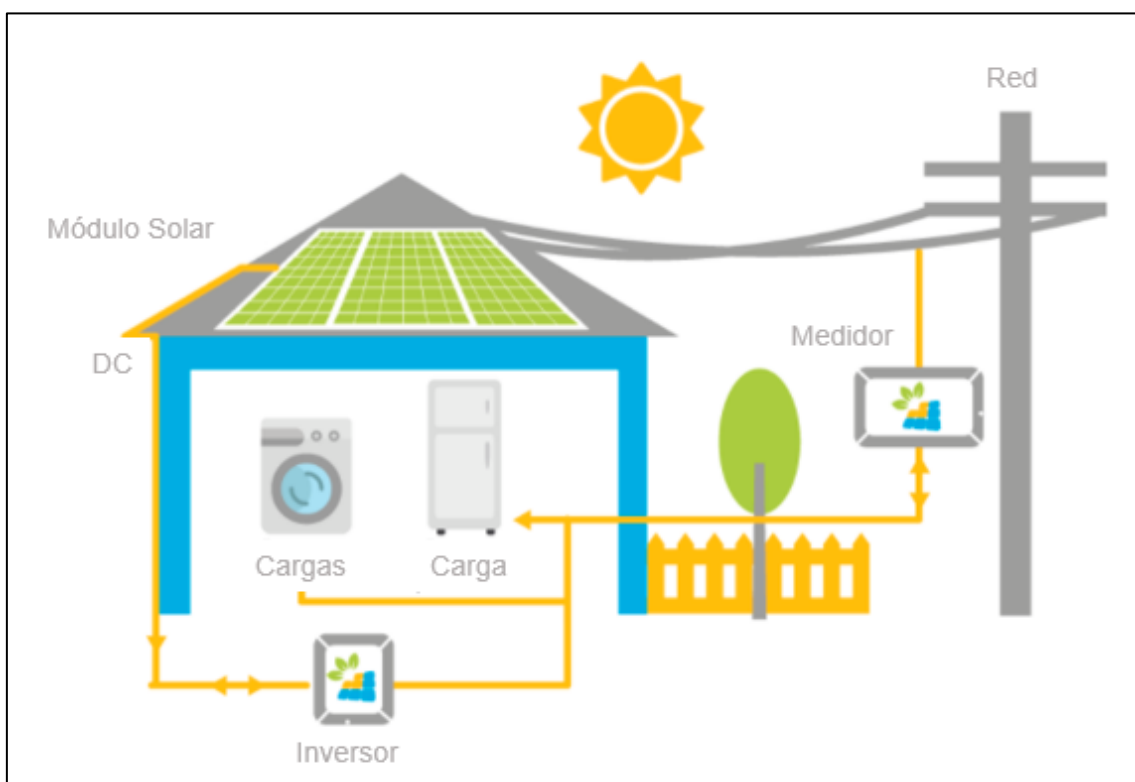


Ilustración 7 Sistema Solar Fotovoltaico conectado a la red.

Fuente: (Costa Rica Solar Solutions Energia Limpia)

4.3.2 APLICACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADO

Los sistemas aislados se utilizan cuando los edificios o instalaciones se encuentran alejados de la red de distribución. Estos normalmente se encuentran en viviendas rurales, criaderos, fincas y alumbrado público. Los componentes básicos de una instalación aislada son:

- ✓ Módulos Fotovoltaicos: estos son los encargados de captar la energía fotónica del sol.
- ✓ Baterías: ya que estas se encuentran alejados de la red eléctrica, es necesario tener baterías para tener energía reservada.
- ✓ Regulador: es un dispositivo que se encarga de gestionar la carga de las baterías y el consumo de la instalación.
- ✓ Inversor: este dispositivo se encarga en transformar la energía eléctrica tipo DC a energía eléctrica tipo AC, que se produce por los módulos o en batería si se tiene.
- ✓ Dispositivos de uso final: Son los electrodomésticos o equipo que se encargan de consumir energía eléctrica generada. Por ejemplo: televisores, refrigeradores, ventiladores y todo electrodoméstico que se encuentre en la casa de habitación.

(EnergiaFV, 2018)

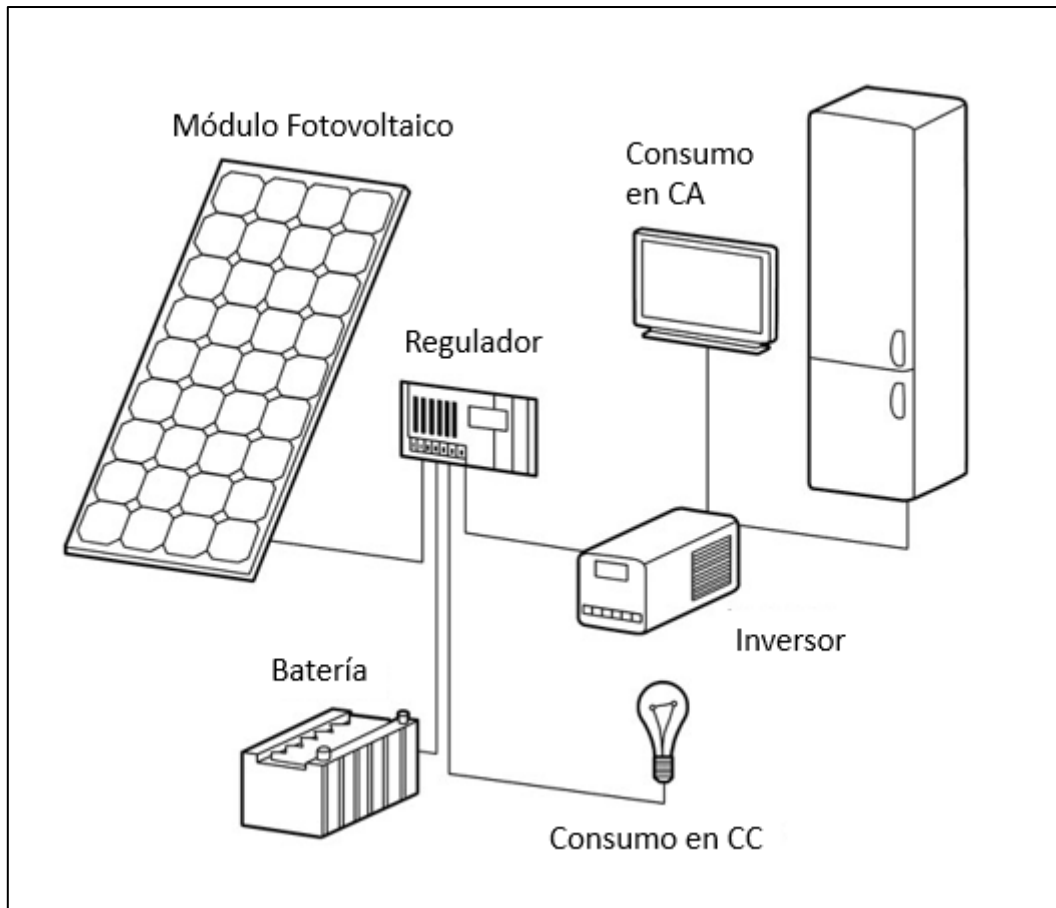


Ilustración 8 Esquema de Sistema Solar Fotovoltaico Aislado

Fuente: (EnergiaFV, 2018)

4.4 SELECCIÓN TIPO DE MÓDULO SOLAR

Para realizar la instalación de módulos fotovoltaicos solares, se debe de saber cuál va a ser la demanda pico, ya que de acuerdo a eso se va a analizar el modelo, la potencia y la cantidad de módulos solares que se necesitarán para un proyecto en específico.

$$\# \text{ de módulo} = \frac{\text{Energía demandada} \times \text{Irradiancia AM 1.5}}{\text{Irradiación}_{POA} \times \text{Cap. nom. módulo} \times P.R.}$$

Ecuación 1 Cantidad de Módulos

Donde:

- # de módulos: la cantidad de módulos solares fotovoltaicos que se necesitarán en un proyecto específico [–]
- Energía demandada: la energía eléctrica pico que se consume diariamente [kWh]
- Irradiancia AM: irradiancia de prueba $\left[\frac{kW}{m^2}\right]$
- Irradiación $_{POA}$: la irradiación proyectada sobre del plano del arreglo fotovoltaico. $\left[\frac{kW}{m^2}\right]$
- Cap. Nom. Módulo: es la capacidad en Corriente Directa (DC) que tiene el módulo solar fotovoltaico [kW]
- P. R. (Coeficiente de Rendimiento): es una magnitud independiente del sistema del lugar de ubicación, es el indicador de la calidad de la instalación del sistema fotovoltaico [–]

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

4.5 MECÁNICA DE FLUIDOS

Entender conceptos sobre mecánica de fluidos es indispensable para el diseño de proyectos con sistemas hidráulicos. La mecánica de fluidos y la dinámica de fluidos, ayudan a analizar el comportamiento de un fluido en un sistema hidráulico. Este comportamiento puede estar basado en parámetros como la presión, la temperatura, viscosidad, velocidad del fluido y caudal. Al entender los puntos mencionados anteriormente se puede diseñar un sistema hidráulico con pronósticos acertados del comportamiento de dicho fluido. En este proyecto el fluido a utilizar será el agua, y afortunadamente este fluido permite un diseño hidráulico más sencillo en comparación a otros fluidos más viscosos y densos.

4.6 ANTECEDENTES DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA

El agua disponible en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de km³, en el cual el 2.5% es parte del agua dulce. La mayor parte del agua dulce se concentra en los glaciares hechos de hielo y regiones montañosas, el 29.9% se encuentra almacenada en acuíferos y el 0.26% se encuentra los lagos, embalses y ríos. (Diaz, Bravo, Alotorre, & Sánchez, 2013)

Actualmente Honduras tiene 2,575.6 MW de capacidad instalada en su sistema eléctrico nacional (o como se conoce normalmente: SIN [Sistema Interconectado Nacional]). De estos 2,575.6 MW, 728.9 MW son hidroeléctricos. Esto representa aproximadamente un 30% de la matriz nacional indicando el alto uso de esta tecnología en nuestro país (ENEE, 2020). Se estima que Honduras tiene un Potencial Hidroeléctrico de 5,000 MW, del cual lastimosamente solo se utiliza el 10% del potencial hidroeléctrico. (Flores, 2014)

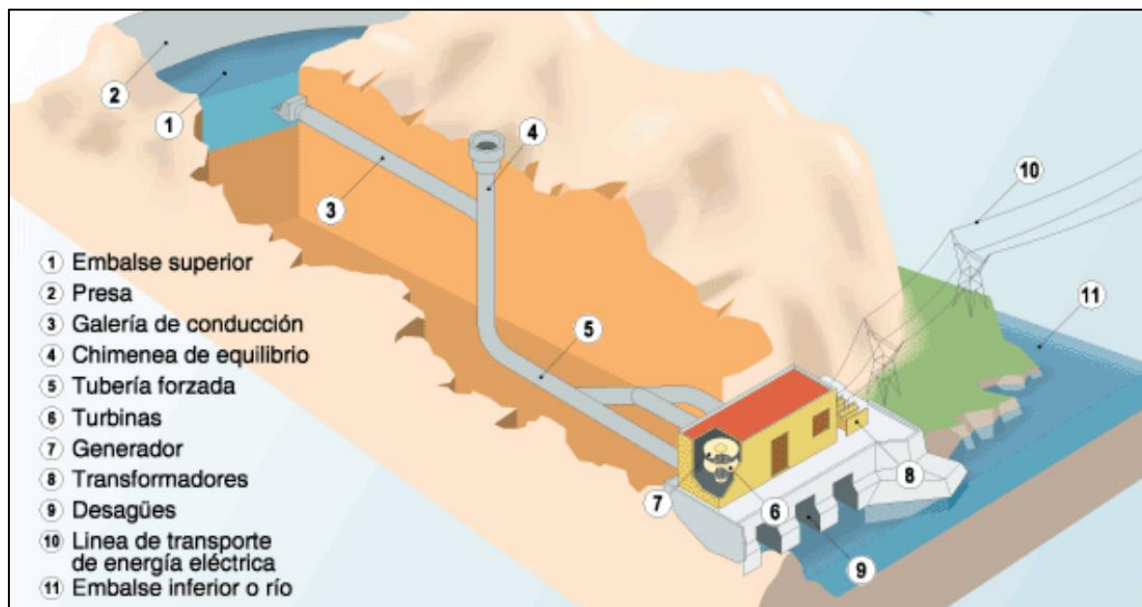


Ilustración 9 Central Hidráulica de Bombeo.

Fuente: (García, 2014)

Cuando el sistema hidroeléctrico se encuentra en las horas valle, se construyen las Centrales Hidráulicas de Bombeo, que aprovechan la energía sobrante para poder elevar el agua de un depósito que puede ser inferior o superior. Cuando hay mayor demanda eléctrica, el agua que se encuentra en la parte superior se aprovecha siendo turbinada y produciendo electricidad, transportándose directamente a el agua del depósito inferior. (Garcia, 2014)

4.7 APLICACIONES DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA

Las centrales hidroeléctricas se conocen como las que transforman la energía cinética del agua en energía mecánica utilizándose en un generador para obtener energía eléctrica. Las centrales son las que más se utilizan ya que con esta se tiene la obtención de energía eléctrica con alta eficiencia. (Quezada & Criollo, 2011)

Las generadoras hidroeléctricas están clasificadas como se muestra en la **Tabla 1**:

Tabla 1 Clasificación de las Plantas Hidroeléctricas.

Nano Centrales	Hasta 1 kW
Pico Centrales	1 kW – 10 kW
Micro centrales	11 kW – 50 kW
Mini centrales	51 kW – 1,000 kW
Pequeñas Centrales	1MW – 5 MW
Medianas Centrales	5 MW – 30 MW

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

4.7.1 APLICACIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA EN LA RED

En el proceso de generación de energía eléctrica por un sistema hidráulica, la entrada de agua se abre lentamente, la turbina comienza a girar y a medida que aumenta el caudal a través de la turbina, el generador comienza a excitarse y producir electricidad en corriente alterna. Pero esta corriente se conduce a un voltaje y una frecuencia más baja de lo que la red puede aceptar.

El sistema de control monitorea el voltaje y la frecuencia, y se ajusta al caudal a través de la turbina para que sea igual a la red. Una vez dentro de las especificaciones, las formas de onda de la electricidad del generador y la red deben sincronizarse para que estén "en fase". Una vez sincronizado, un contactor se cierra de manera automática, y este conecta directamente el generador a la red. (Renewables FIRST)

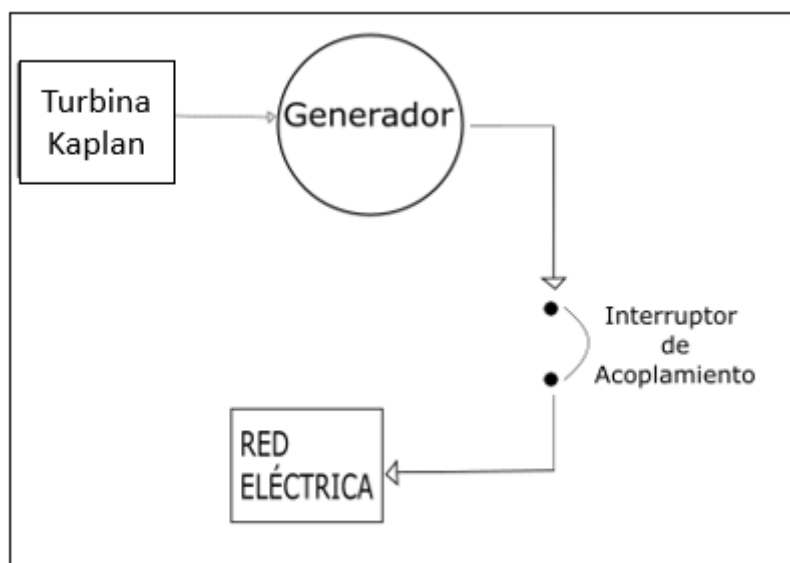


Ilustración 10 Esquema de una Central Hidroeléctrica conectada a la Red.

Fuente: (Rodríguez, 2019)

4.7.2 APLICACIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA AISLADO.

Para que Honduras tenga una mejor factibilidad económica en los proyectos hidroeléctricos y que logren tener sostenibilidad técnica, es de gran importancia que los materiales, máquinas, equipos y herramientas necesarios se puedan adquirir en el mercado nacional. En Honduras no hay muchas ofertas de turbinas para pequeña escala, esto obliga que se importen los equipos, teniendo como consecuencia los altos gastos por importación. (Morazán)

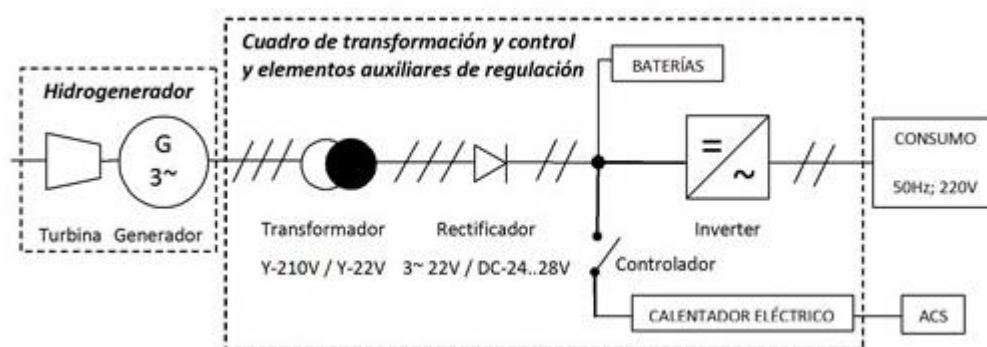


Ilustración 11 Esquema Eléctrico de Micro Central Hidroeléctrica.

Fuente: (Escuín, 2011)

4.8 SELECCIÓN DE TIPO DE TURBINA PARA UNA MICRO-HIDROELÉCTRICA

Antes de darnos la tarea de dimensionar el tipo de turbina para una hidroeléctrica, es sumamente necesario considerar dos criterios de diseño básicos. El primero y más importante es el factor de velocidad específica, este mismo está determinado por las revoluciones por minuto de la turbina, la potencia entregada y la diferencia de altura desde el punto de almacenamiento y el punto de instalación de la turbina. Como se puede notar las características topográficas del terreno son un factor determinante a la hora de dimensionar la turbina. El segundo criterio de selección es la demanda eléctrica que se debe abastecer, ya es parte del objetivo del proyecto y si no se cumple este criterio el sistema se vuelve inadecuado.

Además de criterios de dimensionamiento de turbina, se deben considerar otros criterios que rigen la eficiencia y funcionamiento. Uno de esos criterios es el de pérdidas por tubería, con este dato se obtiene una diferencia de alturas o mejor dicho un salto más eficiente para calcular la potencia real generada. Otro criterio obligatorio en los cálculos es el de potencia en flujo, el cual se obtiene de parámetros como el caudal de tubería, densidad del agua, diferencia de altura y la gravedad. Como último criterio se debe tomar en cuenta la curva de operación de la turbina, esto se debe a que este parámetro nos brinda una forma de calcular el rendimiento de la turbina en base al caudal de diseño.

4.8.1 DETERMINAR LA POTENCIA DE DEMANDA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Uno de los ejercicios más prácticos para determinar la demanda de potencia, así como la demanda de energía eléctrica, es el de obtener un perfil de carga. Ya sea un proyecto residencial, comercial o industrial, el primer paso es elaborar un inventario de cargas. Este inventario debe contener información como potencia nominal del equipo o electrodoméstico a alimentar, tiempo de uso de cada electrodoméstico y su respectivo factor de carga. Con estos datos es posible determinar la potencia máxima demandada, como también la energía eléctrica generada diaria o mensualmente.

En este proyecto se tiene el objetivo de abastecer electricidad suficiente para alimentar una red de alumbrado de accesos a una finca en una zona remota de Siguatepeque, iluminación de bodegas y zonas exteriores del plantel. Tomando en cuenta lo anterior se debe hacer un cálculo en base a dos kilómetros de acceso que se debe alumbrar, la iluminación de dos bodegas de aproximadamente 220 metros cuadrados cada una.

4.8.2 SELECCIÓN DE TURBINA EN BASE A LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

Como se mencionó anteriormente, se deben considerar criterios de diseño, factores topográficos y criterios que definen la eficiencia de la turbina. En este trabajo se ha considerado utilizar la turbina Kaplan debido a que trabaja en un rango de alturas de 4 a 75 metros. El terreno a utilizar en este sistema cuenta con una diferencia máxima de altura de 8 metros, a esto se le debe restar las pérdidas por tubería.

Para que la turbina tenga un rendimiento óptimo se debe determinar un caudal de diseño que sea compatible con el flujo de agua de la turbina seleccionada. Este caudal de diseño junto con el tiempo planeado de generación va a determinar la demanda hídrica de la turbina para un funcionamiento apropiado. Esta es otra razón por la cual se decidió utilizar una turbina Kaplan, en donde para diseños de generación de 10 kilowatts de potencia se demanda un caudal en un rango de 100 litros por segundo.

4.8.3 COMPONENTES DE LA TURBINA KAPLAN

- Cámara espiral: esta componente se encarga de distribuir uniformemente el agua en la entrada del rotor. Su diseño en forma de caracol se debe a que la velocidad promedio del fluido debe ser constante en todo el proceso.
- Distribuidor: esta sección cuenta con álabes móviles directores, estos tienen la misión de dirigir el agua hacia los álabes del rotor y regular el caudal ingresado. En turbinas de gran escala, este distribuidor también permite modificar la potencia de la turbina de manera que se ajuste a las variaciones de carga de la red eléctrica.
- " Rotor o rodete: es el corazón de la turbina, pues aquí tiene lugar el intercambio de energía entre la máquina y el fluido. En forma general, la energía del fluido al momento de pasar por el rodete es una suma de energía cinética, energía de presión y energía potencial. La turbina convierte esta energía en energía mecánica que se manifiesta en el giro del rodete. El rodete a su vez transmite esta energía por medio de un eje a un generador eléctrico donde se realiza la conversión final en energía eléctrica. El rotor puede tener diversas formas dependiendo del número específico de revoluciones para el cual esté diseñada la

máquina, que a su vez depende del salto hidráulico y del caudal de diseño.”
(Escobar, 2020)

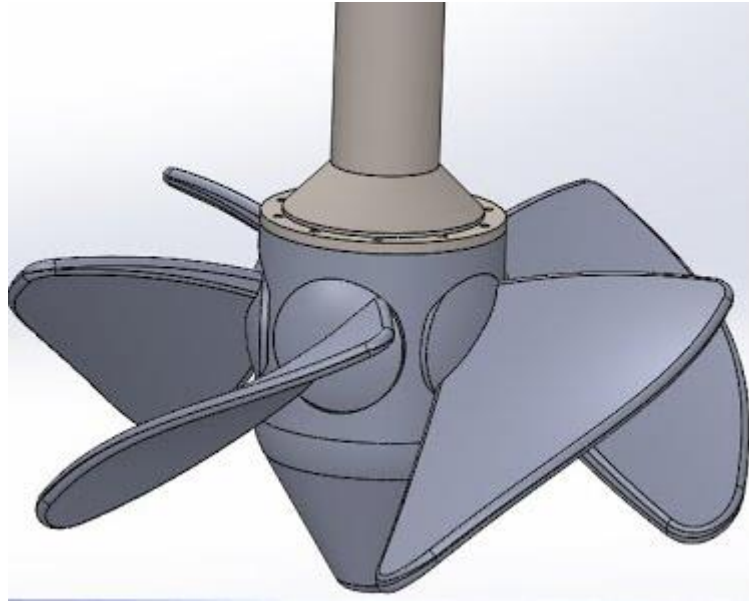


Ilustración 12 Rodete de Turbina Kaplan

Fuente: Carlos Fernández, 2020

- “Tubo de aspiración: es la salida de la turbina. Su función es darle continuidad al flujo y recuperar el salto perdido en las instalaciones que están por encima del nivel de agua a la salida. En general se construye en forma de difusor, para generar un efecto de aspiración, el cual recupera parte de la energía que no fuera entregada al rotor en su ausencia.” (Escobar, 2020)

4.8.4 VENTAJAS DE TURBINA KAPLAN

- ✓ Puede ser usada en lugares que se encuentren con poca profundidad.
- ✓ Los animales marinos pueden pasar fácilmente.
- ✓ Se puede usar en canales sin desviaciones y sin la restricción del flujo del agua.

(Garcia, 2014)

4.8.5 DESVENTAJAS DE TURBINA KAPLAN

- ✓ Se complica la reparación ya que se encuentra totalmente sumergida.
- ✓ Es de muy alta complejidad y lo hace con un costo más alto debido al diseño, mantenimiento y su instalación.

(García, 2014)

4.9 SISTEMA DE RIEGO PARA AGRICULTURA

4.9.1 DEMANDA HÍDRICA PARA CULTIVO DE AGUACATES.

“Estudios realizados en California por Faber et al. (1995) indican que el cultivo de aguacate Hass presenta los máximos rendimientos cuando se aplican láminas de agua equivalentes al 70 % de e_{to} ($K_c = 0,.$), mientras que en los tratamientos donde se aplicaron cantidades de agua mayores, equivalentes al 110 % de e_{to} ($K_c = 1,1$), los rendimientos disminuyen en aproximadamente un 50 %. Mediante la evaluación de láminas de riego y análisis de información climática, Bozzolo (1993) estimó, para dos huertos de aguacate Hass, coeficientes del cultivo de 0.5 en primavera, 0.65 en verano y 0.55 en otoño, para las condiciones de Quillota (Chile). Entre tanto, Cardemil (1999) bajo las mismas condiciones definió coeficientes de 0.6 a 0.7 entre los meses de julio a noviembre, y de 0.8 a 0.9 en verano.” (Guerra, Grajales, & Roa)

“En un estudio realizado por Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, se llevaron a cabo pruebas de bulbo húmedo en las localidades de Herveo (Tolima), Rionegro (Antioquia) y Morales (Cauca), encontrando que el gotero de 8 L/h es el que más se ajusta a los requerimientos y tipo de suelo, pues a los 45 minutos de riego se alcanzó la profundidad efectiva del cultivo en las tres localidades, lo que significa que el tiempo de riego no debe exceder los 45 minutos para no perder agua por infiltración.” (Guerra, Grajales, & Roa)

4.10 DISEÑO DE ESTANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA PARA ABASTECER EL SISTEMA DE RIEGO Y PARA ALIMENTAR LA TURBINA GENERADORA DE ELECTRICIDAD

En el diseño de este sistema híbrido de bombeo y generación se planea brindar una autonomía de tres días. Es decir, el sistema debe ser capaz de brindar riego y electricidad por máximo tres días, sin necesidad de bombear agua al sistema de almacenamiento. Se tomó esta decisión ya que se debe diseñar para escenarios contraproducentes y poder estar un paso adelante ante los inconvenientes.

Se plantea la construcción de un estanque cuadrado con una capacidad volumétrica de 13,200 metros cúbicos. Las dimensiones del estanque deben ser de 40 metros de ancho, 55 metros de largo y seis metros de profundidad.

4.11 DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Un sistema de iluminación se puede definir como un sistema que brinda luz artificial a una instalación, residencia o incluso áreas al aire libre. Para un sistema de iluminación adecuado se deben considerar factores como el área a iluminar, capacidad lumínica de la lámpara, altura de instalación de la lámpara en base al punto de iluminación y potencia nominal de la lámpara. En este trabajo se pretende diseñar un sistema de iluminación que pueda cubrir la demanda de la bodega de almacenamiento de cultivos y sus exteriores, como también los accesos a la finca.

4.12 TRANSFORMADORES PARA ELEVACION DE VOLTAJE

Los transformadores eléctricos se encargan de transferir energía eléctrica de un circuito a otro, puede que se encuentre alejado o cercano de la instalación donde se genera electricidad; convirtiendo la energía eléctrica que tiene cierto voltaje y corriente; en energía eléctrica con otro voltaje y corriente. Los transformadores son de corriente alterna, ya que la corriente continua no puede transformarse de una manera sencilla y económica. El principio básico de un transformador es que la corriente del devanado primario crea un flujo magnético variable en el núcleo y en el devanado secundario el flujo se induce por medio del voltaje. El devanado primario se encuentra

conectado a la fuente de energía el cual transporta la corriente alterna desde la línea de suministro, siendo devanado de bajo o alto voltaje. El núcleo es el circuito magnético en donde se enrollan los devanados y donde se produce el flujo magnético alterno. El devanado secundario es el que suministra energía y carga, siendo de alto o bajo voltaje (De Maquinas y Herramientas, 2013)

V. METODOLOGÍA

A continuación, se enumerarán y detallarán una serie de métodos que son requeridos para respaldar cálculos y procedimientos de este proyecto. Se profundizará en el enfoque, técnicas aplicadas, variables de investigación, materiales, entre otras.

5.1 ENFOQUE

Este trabajo se orienta hacia un enfoque cuantitativo debido a que el proyecto conlleva una secuencia lógica en cada uno de los procesos que se involucran. El enfoque cuantitativo acumula y calcula datos cuantitativos; ya sean estos sobre variables independientes o dependientes, propiedades del terreno a considerar, o incluso sobre mediciones y cálculos para obtener diseños adecuados para un funcionamiento correcto del sistema.

Como se abordó anteriormente, uno de los problemas más comunes en comunidades agricultoras, es el abastecimiento de agua y electricidad en zonas de difícil acceso. Con este trabajo se planea brindar una base para facilitar el diseño de sistemas de bombeo de agua y generación de energía eléctrica en terrenos escarpados.

Se pretende diseñar un sistema que brinde una autonomía de mínimo tres días, con el cual se solventará primordialmente la alimentación de un sistema de riego. El enfoque cuantitativo permite una recolección de datos por medio de la medición de variables y también por medio de la aplicación de conceptos fisicomatemáticos. En la **Ilustración 12** se puede mostrar la distribución de la tubería de bombeo, la tubería para el sistema de riego y la tubería que alimenta la turbina.

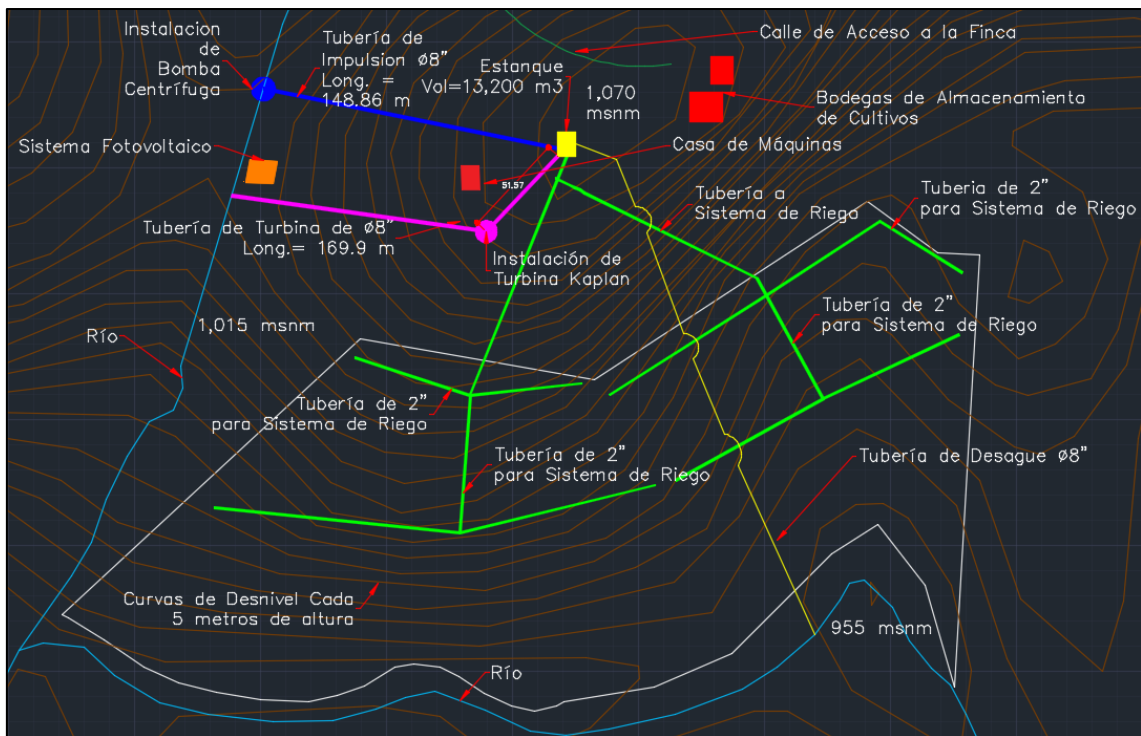


Ilustración 13 Diagrama de Distribución del Sistema de Tuberías.

Fuente: Elaboración Propia.

5.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Se toma en cuenta que la energía eléctrica que se planea utilizar o generar depende del comportamiento de la naturaleza; como ser días nublados o días sin lluvia. Ya que la energía solar es una energía intermitente y solo se logra aprovechar cuando hay irradiación del sol; es bastante oportuno combinar una tecnología alterna que compense las horas noche para lograr producir energía eléctrica. En este trabajo se plantea utilizar la tecnología de almacenamiento de energía por bombeo de agua en vista de que dicha elección permite abastecer sistemas de riego y la alimentación hídrica de una micro turbina para generación de energía eléctrica. Es justo definir que una variable es la propiedad de un sistema que puede adquirir diferentes valores. Estos valores pueden ser alterados por fenómenos naturales, diseño del sistema, procesos y hasta por propiedades topográficas o geográficas. Estas variables de investigación pueden ser divididas en variables independientes y variables dependientes.

5.2.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes son aquellas que no dependen de otra variable. La **Ilustración 12** y **13** enumeran las variables independientes a considerar en este proyecto.

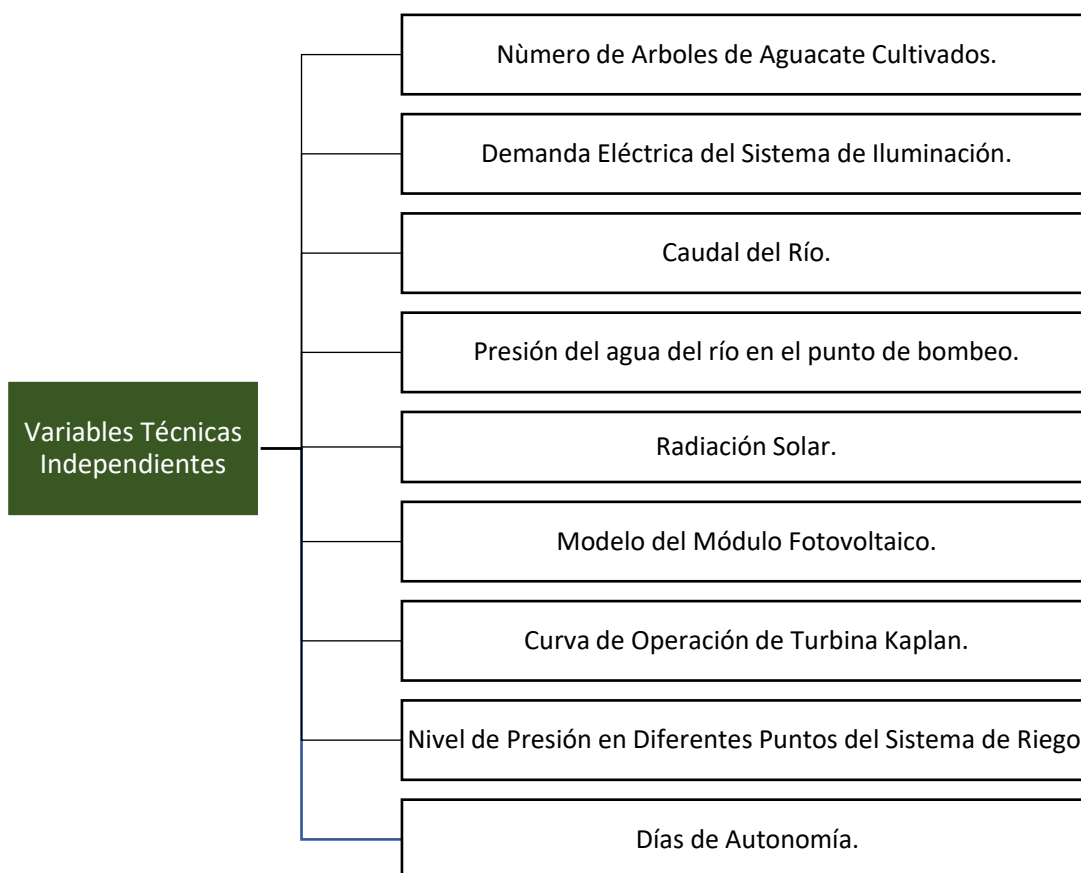


Ilustración 14 Variables Técnicas Independientes.

- a. Numero de Árboles de Aguacate Cultivados.

Este será el número de árboles que Grupo Agro planea cultivar en base al asesoramiento recibido por parte de entidades gubernamentales.

- b. Demanda Eléctrica del Sistema de Iluminación.

La demanda de energía eléctrica está basada en la cantidad y tipo de área necesaria a iluminar. Se plantea iluminar dos bodegas de almacenamiento de $220 m^2$ y un tramo de acceso a la finca de aproximadamente 2.5 km. Para cada tipo de iluminación es necesario

identificar la demanda lumínica y la potencia nominal de las lámparas, y así obtener un inventario de cargas que determine la demanda eléctrica.

c. Caudal del Río.

El caudal del río es una variable que depende de fenómenos meteorológicos, y este es un factor que afecta de raíz la ignición del sistema completo. El bombeo del agua del río es el primer paso para poner en funcionamiento el sistema.

d. Presión del agua del río en el punto de bombeo.

La presión del agua del río en el punto de bombeo es un factor que determina el tipo de tubería que se utilizara para la succión del agua. En este tipo de instalaciones de bombas elevadoras es más apropiado utilizar tuberías de hierro fundido el cual está diseñado para soportar caudales a unas presiones relativamente altas, las cuales una tubería de PVC no soportaría.

e. Radiación Solar.

La radiación solar es una variable de afectación positiva, ya que entre más radiación se encuentre en el lugar donde se realizará el proyecto; se obtendrá mayor generación de energía eléctrica. Evitando tener la preocupación de que el sistema solar no logre abastecer la bomba de succión de agua.

f. Coeficiente de Rendimiento del Módulo Fotovoltaico.

El rendimiento del módulo fotovoltaico es positivo, ya que entre más rendimiento tenga el módulo será mejor aprovechada la energía eléctrica que se pueda utilizar para suplir la bomba.

g. Curva de Operación de Turbina Kaplan.

La curva de operación de la turbina es útil para lograr determinar el rendimiento por el caudal de diseño.

h. Nivel de Presión en Diferentes Puntos del Sistema de Riego.

Debido a que la característica del terreno es inclinada y escarpada, se pueden identificar diferentes puntos de presión en cada punto de desnivel. Por esta misma razón se plantea utilizar un sistema de tuberías en el sistema de riego que permita controlar las válvulas de forma manual.

i. Días de Autonomía.

Se consideraron tres días de autonomía por cualquier inconveniente que tenga la bomba o el arreglo solar por efectos meteorológicos, y de esta manera se evita cualquier problema con el abastecimiento hídrico de los cultivos y la turbina.

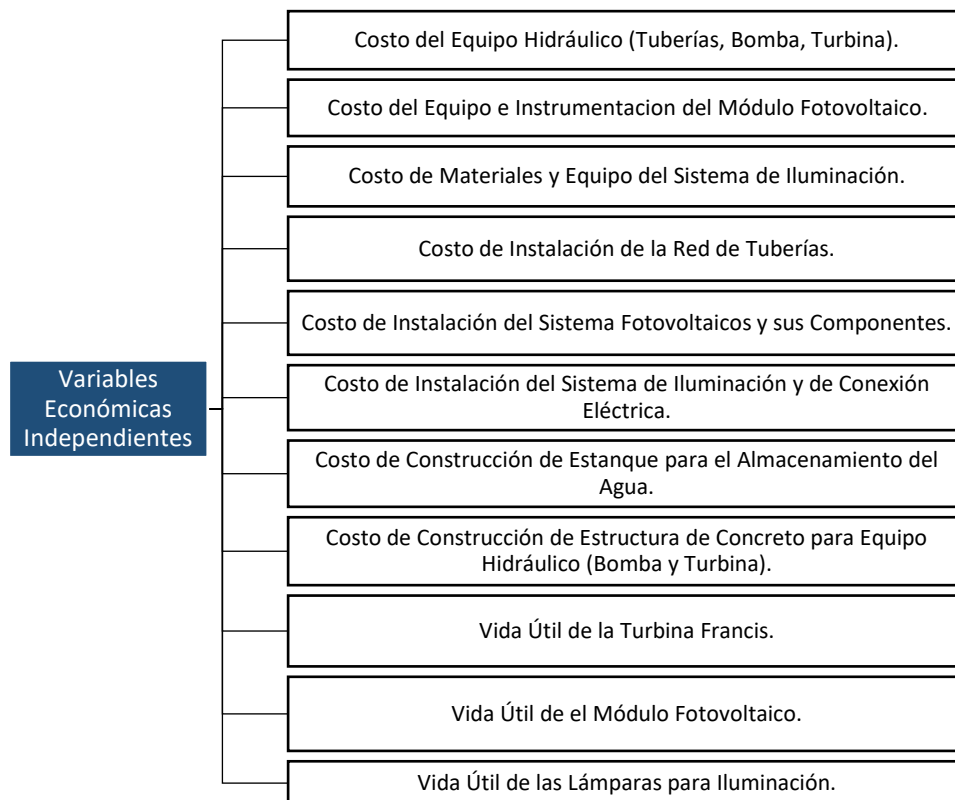


Ilustración 15 Variables Económicas Independientes.

5.2.2 VARIABLES DEPENDIENTES

Se conoce como variable dependiente a aquella propiedad que depende de otra variable. Estas variables dependientes son usualmente las que se miden para la recolección de datos y así mismo lograr un diseño de un proyecto o sistema funcional.

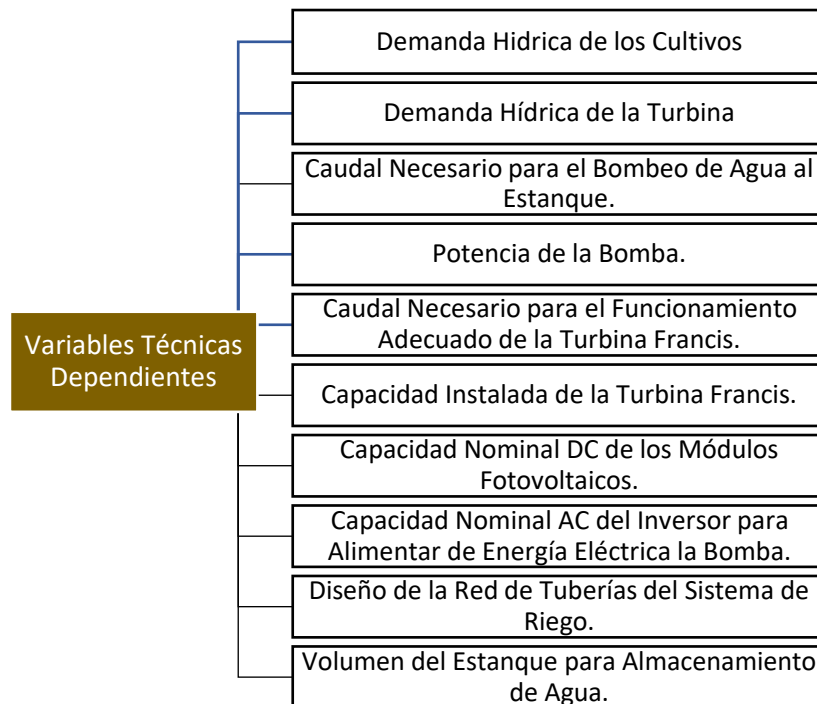


Ilustración 16 Variables Técnicas Dependientes.

a. Demanda Hídrica del Sistema de Riego.

La demanda hídrica del sistema de riego es el volumen de agua que se necesita para poder abastecer los cultivos. En el rubro de la agricultura la demanda hídrica depende mucho del tipo de cultivo. Hay cultivos que exigen riego diario, y también hay otros cultivos que pueden necesitar riego una vez por semana. En este proyecto la finca de Grupo Agro, desea cumplir una demanda hídrica diaria del árbol de aguacate Hass para una plantación de aproximadamente 7 manzanas (49,000 m^2).

b. Demanda Hídrica de la Turbina.

La demanda hídrica de la turbina es un parámetro que depende meramente de energía eléctrica que se demanda. Este proyecto se limita a un diseño que pueda cubrir únicamente la iluminación de instalaciones de la finca y de accesos a la propiedad.

Además de lo anterior, la demanda hídrica de la turbina se rige por el caudal necesario para producir la energía eléctrica demandada tomando en cuenta la eficiencia de la turbina seleccionada.

c. Caudal Necesario para el Bombeo de Agua al Estanque.

El caudal necesario será de acuerdo a la demanda, este caudal se encargará de alimentar una turbina y árboles de aguacate. Se deberá de considerar un caudal mínimo ya que, si no se produce este caudal mínimo, los cultivos o la turbina podrían salir afectados.

d. Potencia de la Bomba.

A mayor caudal a transportar, se utilizará una bomba de mayor potencia. La bomba a utilizar en la investigación tendrá que transportar 44 litros/segundo, por el cual se consideró utilizar una bomba de 60 kW.

e. Caudal Necesario para el Funcionamiento Adecuado de la Turbina Kaplan.

La potencia de la turbina, se definió de acuerdo a la demanda eléctrica de la iluminación. Si la potencia que se desea alimentar aumenta, el caudal también aumentará.

f. Capacidad Nominal DC de los Módulos Fotovoltaicos.

La instalación de los módulos fotovoltaicos, dependerá del dispositivo que alimente. Este alimentará a una bomba de 60 kW. Entonces la potencia en DC debe ser mayor a la demandada, ya que se deben de considerar las pérdidas por transformación.

g. Capacidad Nominal AC del Inversor para Alimentar de Energía Eléctrica la Bomba.

La capacidad nominal del inversor, depende de la potencia del arreglo solar. Esta capacidad nominal debe ser igual o mayor a la potencia nominal de la bomba que se utilizará para succionar agua al estanque.

h. Diseño de la Red de Tuberías del Sistema de Riego.

El diseño de la red de tuberías para riego debe estar distribuida de la manera que permita posicionar válvulas en serie que puedan abastecer los canales de riego para los árboles de aguacates.

i. Volumen del Estanque para Almacenamiento de Agua.

El volumen del estanque depende directamente de los días de autonomía. La demanda hídrica para la turbina que generará energía eléctrica es de 100 litros por segundo por 12 horas noche. La demanda hídrica del sistema de riego para el cultivo de aguacate es de 7,560 litros diarios.

A continuación se enlistarán las Variables Económicas Dependientes de esta investigación.

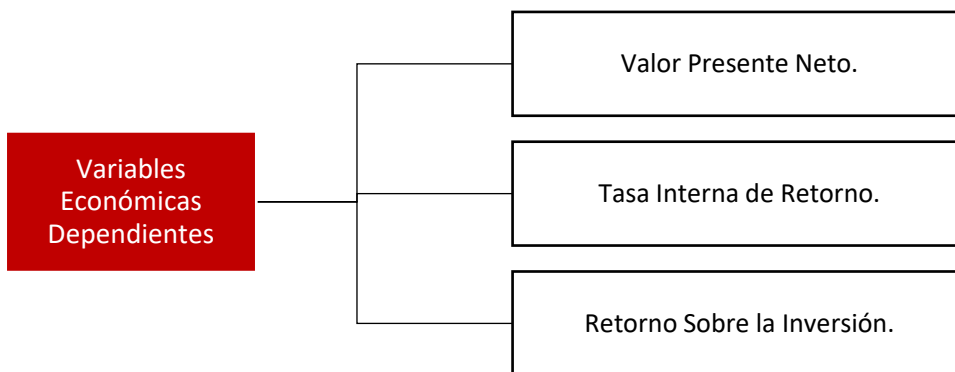


Ilustración 17 Variables Económicas Dependientes.

a. Valor Presente Neto.

El valor presente neto de un proyecto, se considera el valor actual de los flujos de efectivo netos de la propuesta que se presenta, se entiende por flujos de efectivo netos (Mete, 2014). En la **Ecuación 2** se muestra la fórmula del VAN.

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

Ecuación 2 Valor Presente Neto.

Donde:

- VAN = Valor Presente Neto [\$]
- N= Número de períodos [-]
- n= Período de Evaluación [-]
- I_n = Ingresos de efectivo [\$]
- E_n = Egresos de efectivo [\$]
- i=tipo de interés [%]

b. Tasa Interna de Retorno.

La tasa de retorno es utilizado para la toma de decisiones de un proyecto. Se define como la tasa de descuento que iguala al VAN. Este es el método que señala el rendimiento generado por los fondos que fueron invertidos en el proyecto, resumiéndose en la medición del rendimiento del dinero de inversión del proyecto, y que no depende de otros flujos de efectivo (Mete, 2014). En la **Ecuación 3** se muestra la fórmula.

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

Ecuación 3 Tasa de Retorno.

Donde:

- TIR= Tasa Interna de Retorno [%]
- N= Número de períodos [-]
- n= período de evaluación [-]
- Q_n = Flujo de caja en el período n [\$]
- i= Valor de la inversión inicial [\$]

c. Retorno Sobre la Inversión.

Se utiliza para medir el rendimiento de la inversión o lograr entender cuál fue el retorno generado en el proyecto.

$$ROI = \frac{(Beneficio\ Obtenido - Inversión)}{Inversión}$$

Ecuación 4 Retorno Sobre la Inversión.

Donde:

- ROI= Retorno Sobre la Inversión [%]

5.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Son todas las técnicas, herramientas e instrumentos que se utilizarán para el desarrollo del proyecto y validar si se podrá realizar.

5.3.1 INSTRUMENTOS:

- AUTOCAD:

Es un programa en el cual se utiliza en PC para el diseño de planos, favoreciendo con extensa librería con recursos como colores, el grosor de la línea y el tipo de texturas que se desea implementar. En la investigación se realizarán planos en 2D, para los planos topográficos, identificando las curvas de nivel en la ubicación y los diseños de distribución de tuberías.

- REVIT:

Es un software utilizado para arquitectura, que diseña proyectos y los procesos de trabajo. Revit se basa en la modelación de parámetros de objetos y elementos que son constructivos en los edificios que se desean implementar. Este se utilizará para hacer un modelo en 3D del terreno escarpado que se manejará para la investigación.

- SKETCHUP:

Es un programa que dimensiona diseños gráficos en 3D. Se utiliza para modelar entornos que se pueden implementar en arquitectura, ingeniería civil, diseños industriales y escénicos. Diseñándose una maqueta digital a color para una mejor visualización del sistema.

- HELIOSCOPE:

Es una herramienta utilizada en la PC, se considera como un simulador para proyectos solares fotovoltaicos. Es una aplicación que realiza el diseño y dimensionamiento de una instalación de módulos solares, tomando en cuenta que brinda la información de pérdidas generadas por sombra de árboles y edificios, ubicación geográfica y por cableado.

- EXCEL

Es un programa de Microsoft Office, donde se pueden implementar diferentes programaciones para obtener resultados matemáticos. En el proyecto se utilizará para calcular los parámetros financieros como ser VAN, ROI y TIR. También se calculará la potencia real generada por la turbina.

5.4 MATERIALES

→ Bomba centrífuga 40HP trifásica (Modelo: EVANS MT4AME4000): esta bomba tendrá la labor de transportar el agua desde el río hacia el estanque, ubicado a 105 metros desde el punto de succión. Se planea que la bomba transporte 40 litros por segundo durante 7 horas sol del día.

→ Turbina Kaplan 10kW: mediante este equipo se aprovechará la energía cinética del agua para transformarla en energía mecánica y por último transformar está en energía eléctrica. Esta turbina se alimentará con 100 litros por segundo de agua en un horario de 6:00 PM a 6:00 AM.

- Materiales para estructura de concreto: se utilizarán materiales como el cemento, grava y arena para estructuras de soporte para la bomba, turbina y desniveles de la tubería. Además, estos materiales se implementarán para la construcción del estanque.
- Tubería PVC: se utilizará tubería PVC de seis pulgadas para la tubería de trayectoria de la bomba al estanque y tubería PVC de cuatro pulgadas para la tubería que alimenta la turbina. En el caso del sistema de riego se empleará tubería PVC de una pulgada.
- Tubería Galvanizada: este tipo de tubería es sumamente necesaria ya que debe soportar la presión a la que entra el agua en el punto de succión. Se utilizará tubería de cuatro pulgadas.
- Módulo Fotovoltaico (Modelo: Pendiente a Seleccionar): se seleccionará un módulo fotovoltaico con suficiente potencia en DC que pueda entregar energía eléctrica a la bomba para el bombeo de agua durante 6 o 8 horas de sol.
- Inversor (Modelo: Pendiente a Seleccionar): este equipo se encargará de transformar la corriente continua del módulo fotovoltaico a corriente alterna para alimentar de energía eléctrica la bomba centrífuga.
- Accesorios del sistema hidráulico: es obligatorio contar con accesorios que permitan controlar el flujo del agua. Algunos instrumentos para utilizar son válvulas de presión, codos y filtros para el paso del agua.
- Soporte metálico para módulo fotovoltaico: esta estructura metálica tiene como función, brindar una elevación sobre el suelo ya que en este caso de estudio el módulo fotovoltaico estará situado en terreno montañoso.

- Lámparas para el sistema de iluminación: para la iluminación del acceso a la finca se utilizarán lámparas LED de 90 Watts, y para la iluminación de las bodegas de almacenamiento de cultivos se usarán lámparas LED de 18 Watts.
- Postes de Madera: estos postes se instalarán cada 35 metros desde el punto de acceso de la finca. Se estima que la ruta de acceso de la finca tiene una trayectoria de alrededor de 700 metros, llevándonos a necesitar alrededor de 20 postes de madera.
- CABLE THW 90: este cable tiene la tarea de servir como conductor de electricidad, y este tipo en específico es diseñado para sistemas de iluminación.

5.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

En esta investigación la muestra a utilizar será la aldea La Germania 1, ubicada en el municipio Siguatepeque. Este sector se caracteriza por su producción de café y plátano; la comunidad en general tiene dificultades para alimentar su sistema de riego de agua, por sus terrenos escarpados.

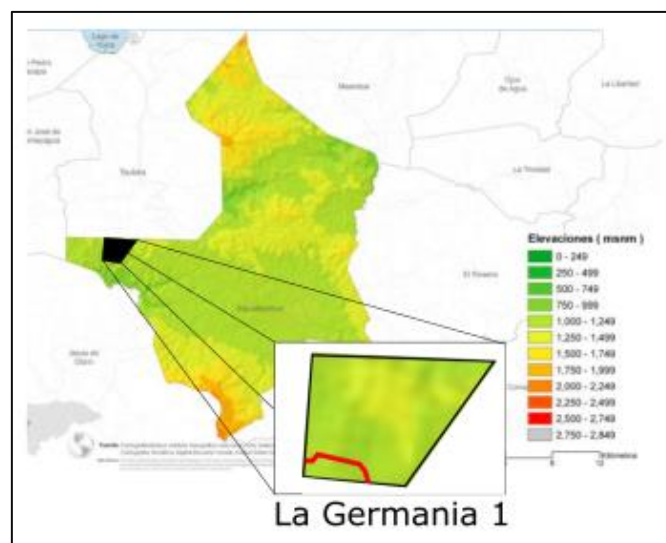


Ilustración 18 Mapa de Elevaciones en Siguatepeque.

Fuente: (Silvestre, s.f.)

Las **ilustraciones 17 y 18** dan una pauta para identificar que el terreno seleccionado es ideal para realizar la investigación. Debido a que este proyecto necesita como mínimo 100 metros en diferencia de altura para generar la energía deseada; el mapa permite distinguir las áreas de elevaciones como también los sectores con ríos disponibles para realizar este proyecto.

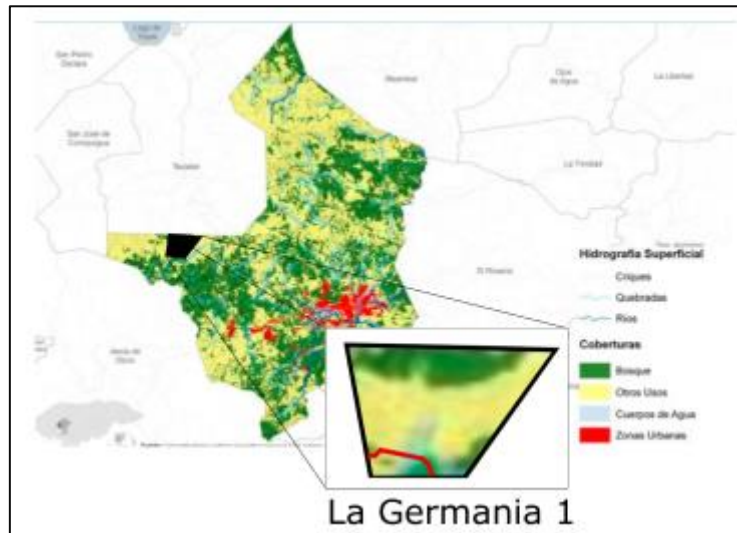


Ilustración 19 Mapa de Hidrografía en Siguatepeque.

Fuente: (Silvestre, s.f.)

5.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En la metodología de estudio se explica cómo se logró resolver el problema de investigación, enlistando los procesos, técnicas e instrumentos que se utilizaron para lograr ayudar a determinar los resultados. Logrando responder los objetivos específicos planteados.

El problema que se identificó para esta investigación es la dificultad de abastecer cultivos que se encuentran en terrenos montañosos en diferentes sectores del país, este problema es de gran magnitud ya que la mayor parte del territorio (casi el 80%) se encuentra en terrenos montañosos (FAO, 1969). Para esta investigación se realizará en una finca que se encuentra cerca de un río. Lo primero que se debe de hacer, es poder identificar cuánta agua ocuparán los cultivos. El cultivo que tienen sembrado son los

árboles de aguacate. El cultivo de aguacate se sembró en un espacio de siete manzanas, en donde por cada manzana se encuentran 180 árboles de aguacate; teniendo un total de árboles de aguacates sembrados de 1,260. Para la demanda hídrica del árbol de aguacate se dio un promedio de consumo diario de 7,560 litros al día (Guerra, Grajales, & Roa). A continuación, se obtendrá la demanda eléctrica de la bodega e iluminación, de esta manera se podrá definir que turbina se necesitará. Calculando la demanda hídrica de la turbina y cultivos, se podrá escoger la bomba apropiada.

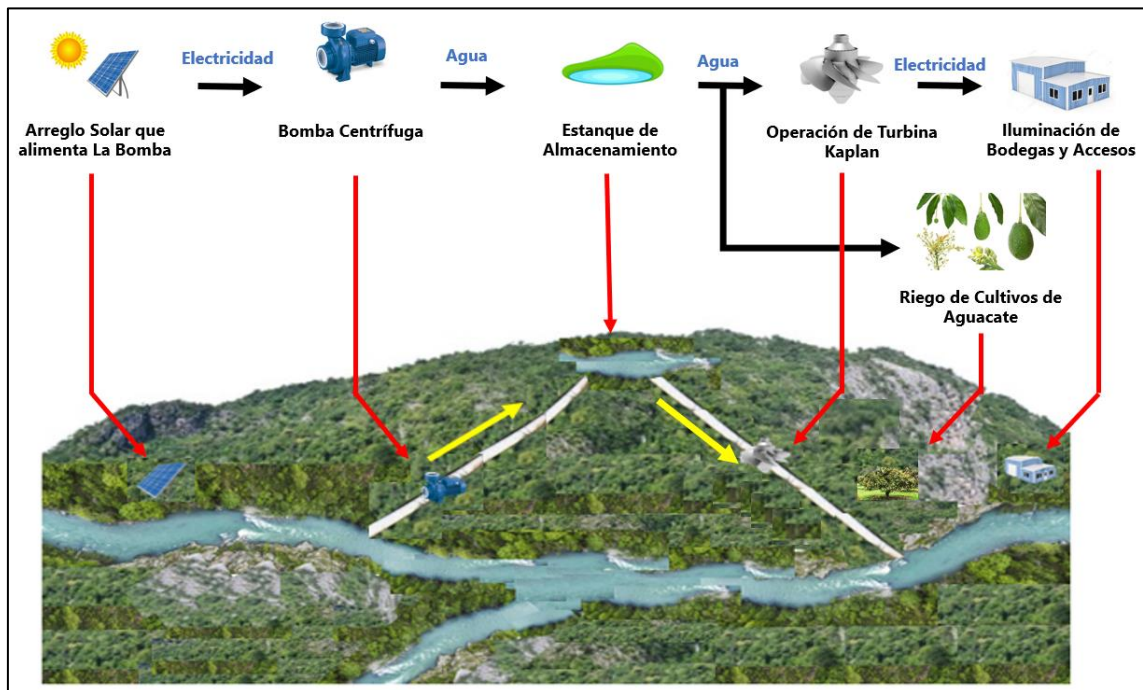


Ilustración 20 Diagrama Conceptual de Procesos de esta Investigación.

Fuente: Elaboración Propia

Para la demanda eléctrica, se obtuvo el perfil de carga de acuerdo a los dispositivos que se utilizarán en la finca. Utilizándose la iluminación por la noche. La demanda se obtuvo con la potencia de la luminaria, el factor de carga, el tiempo estimado que se utilizará diario, de esta manera se obtiene un perfil de carga promedio diario. Teniendo un consumo de aproximadamente de 6.42 kWh.

De acuerdo a la demanda eléctrica se decidió instalar una turbina Kaplan para que abastezca la bodega y la iluminación de los accesos. De acuerdo a los datos anteriores, se decidió escoger una turbina Kaplan con una potencia nominal de 10 kW, la cual necesitará un caudal de 100 litros/segundo. Esta turbina estará trabajando por 12 horas durante la noche, iluminando los accesos, bodegas y demás áreas cercanas de las instalaciones de la finca.

El estanque tendrá una capacidad promedio de 13,200 m³ con un área de 2,200 m². El estanque tiene una capacidad de almacenamiento de agua para tres días de autonomía. Este se encuentra distribuido de la siguiente manera: 40 metros de ancho, 55 metros de largo y seis metros de profundidad. Este estanque tendrá la capacidad de almacenar agua para los cultivos que diariamente se utilizarán 7.56 m³ y para una turbina que generará energía eléctrica por medio de energía mecánica; consumiendo en total 4,320,000 litros al día (4320 m³/día). Se desea tener autonomía para tres días, obteniendo como resultado una capacidad de aproximadamente 12,983 m³. Se diseña un estanque con 217 m³ adicionales ya que se debe considerar pérdidas por evaporación.

La manera por el cual el estanque va a abastecerse de agua, será con una bomba centrífuga que se encargará de succionar agua de un río que se encuentra a aproximadamente tres metros de distancia. Se buscó una bomba con una potencia de 60 kW que succionará aproximadamente 172 litros/segundo. Esta bomba estará trabajando por aproximadamente siete horas, encargándose de abastecer el estanque. Esta bomba será alimentada por medio de energía solar fotovoltaica aislada.

Para el sistema solar fotovoltaico se deberá de saber cuántos módulos solares se instalarán en el sistema, para obtener esta información se deberá de conocer cuál será la demanda de esta. Una vez se tiene la potencia de la bomba, se puede hacer un perfil de carga. Se utilizó HelioScope para obtener el dato de la irradiancia del lugar. El proyecto tendrá una capacidad en DC de 75.9 kW, utilizando módulos solares de marca TRINA SOLAR con una potencia de 660 Watts y tres inversores marca Huawei con una potencia de 22 kW.

Con el fin de dimensionar una central de bombeo adecuada para este proyecto, se deben considerar tres criterios para seleccionar el tipo de bomba que cumpla el objetivo de bombear suficiente agua al estanque. El primer criterio es la altura manométrica. La altura manométrica se puede definir como la suma de la altura geométrica (diferencia de altura entre el punto de succión al punto de almacenamiento) y la suma de las pérdidas de carga. Las pérdidas por carga pueden deberse a rozamiento con la tubería, la rugosidad y la longitud de la tubería. Se clasifican como pérdidas primarias a las que son afectadas por longitud y rozamiento, y se conocen como pérdidas secundarias que son por causa de los accesorios en la tubería. El segundo criterio es el caudal que se desea bombear al estanque. El tercer y último parámetro para la selección de bomba es definido como ANPA (Altura Neta Positiva en la Aspiración) también llamado en inglés como NPSH (acrónimo de Net Positive Head). Este último parámetro depende mayormente de la presión atmosférica del punto de instalación de la bomba.

La altura manométrica se calcula sumando la altura geométrica (diferencia de altura entre el punto de succión y el punto de almacenamiento del agua) y las pérdidas en la tubería (primarias y secundarias).

5.7 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

La metodología de validación es un método por el cual se explica de manera específica la manera cómo se realizó la investigación, procesos por los cuáles se confirma que la investigación se puede aplicar en la vida real. Validándose con cálculos matemáticos que fundamentarán los resultados para luego así proceder a conclusiones concretas.

5.7.1 DEMANDA HÍDRICA DE LOS ÁRBOLES DE AGUACATES

De acuerdo a los expertos, se obtuvo que lo recomendable para el riego de los cultivos de aguacate es de ocho litros por hora y que este método se utilizara por solo 45 minutos al día (Guerra, Grajales, & Roa). El cual se realizó una conversión y está se multiplica por la cantidad de árboles de aguacate.

Dem. Híd. de los Aguacates = Cant. de Agua x Cant. de Árboles x Tiempo de Riego

Ecuación 5 Demanda Hídrica de Cultivo Aguacates.

Donde:

- *Dem. Híd. de los Aguacates* = Demanda Hídrica total diaria de la plantación de aguacates [litros]
- Cant. de Agua = El agua necesaria por cada árbol de aguacate [litros/hora]
- Cant. de Árboles = Número de árboles sembrados en toda la plantación [-]
- Tiempo de Riego = Tiempo que se estará regando la plantación [hora]

5.7.2 BOMBA PARA EL TRANSPORTE DE AGUA AL ESTANQUE

El factor de fricción se calcula para poder obtener los datos de pérdidas por tuberías.

$$\text{Factor de Fricción } (f) = 0.01 \left(\frac{k}{D} \right)^{0.134}$$

Ecuación 6 Factor de Fricción.

Donde:

- f = Coeficiente de fricción [-]
- k = Factor de fricción [mm]
- D = Diámetro de la tubería [m]

Las pérdidas primarias son cuando el fluido se roza con la tubería, esto normalmente sucede cuando se encuentra en tubería que no contiene accesorios, sin ninguna variación de diámetro.

$$h_1 = f * \frac{L}{D} * \frac{V^{0.134}}{2g}$$

Ecuación 7 Ecuación de Pérdidas Primarias por Método de Darcy-Weisbach.

Donde:

- h_1 = Pérdidas Primarias [m]
- f = Coeficiente de fricción [-]
- L = Longitud de la trayectoria del agua bombeada [m]
- D = Diámetro de tubería de trayecto de agua [m]
- V = Velocidad del agua bombeada [m/s]
- g = Magnitud de la gravedad = 9.81 [m/s²]

Las pérdidas secundarias suceden cuando la tubería contiene accesorios como ser codos, válvulas, expansión o disminución de diámetro de la tubería.

$$h_2 = \xi \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Ecuación 8 Pérdidas Secundarias.

Donde:

- h_2 = Pérdidas Secundarias [m]
- ξ = Coeficiente de pérdidas secundarias en accesorios [-]
- V = Velocidad del agua bombeada [m/s]
- g = Magnitud de la gravedad = 9.81 [m/s²]

La altura manométrica es la sumatoria de todas las pérdidas con la diferencia de altura de almacenamiento. Esta altura es necesaria para conocer qué tipo de bomba se deberá utilizar y su potencia.

$$H_m = H_g + h_1 + \sum h_2$$

Ecuación 9 Altura Manométrica.

Donde:

- H_m = *Altura manométrica [m]*
- H_g = *Diferencia de altura desde el punto de succión hasta el punto de almacenamiento manométrica [m]*
- h_1 = *Pérdidas primarias por tubería [m]*
- $\sum h_2$ = *Sumatoria de pérdidas secundarias por accesorios [m]*

El ANPA (Altura Neta Positiva de Aspiración) es un importante parámetro, ya que identifica la cantidad de presión necesaria para la elevación del agua hacia donde se desea almacenar.

$$ANPA\ disponible = H_s + H_a - H_{vp} - H_f$$

Ecuación 10 ANPA Disponible.

Donde:

- ANPA= *Altura Neta Positiva de Aspiración [m]*
- H_s = *Altura sobre el nivel del mar del terreno a utilizar [m]*
- H_a = *Altura desde el punto de succión hasta el punto de instalación de la bomba [m]*
- H_{vp} = *Carga de presión de vapor [m]*
- H_f = *Pérdidas por tubería [m]*

5.7.3 SELECCIÓN DE TURBINA

Para la selección de una turbina de una central hidroeléctrica, es necesario considerar dos parámetros básicos. El primer parámetro es la caída neta o salto, el cual se determina con la diferencia de altura desde el punto de almacenamiento al punto de instalación de la turbina. El segundo parámetro es el caudal que se puede lograr alimentar durante el tiempo requerido. En la **Ilustración 20** se aprecia un ábaco con el cual se puede seleccionar el tipo de turbina mediante los dos parámetros anteriormente mencionados.

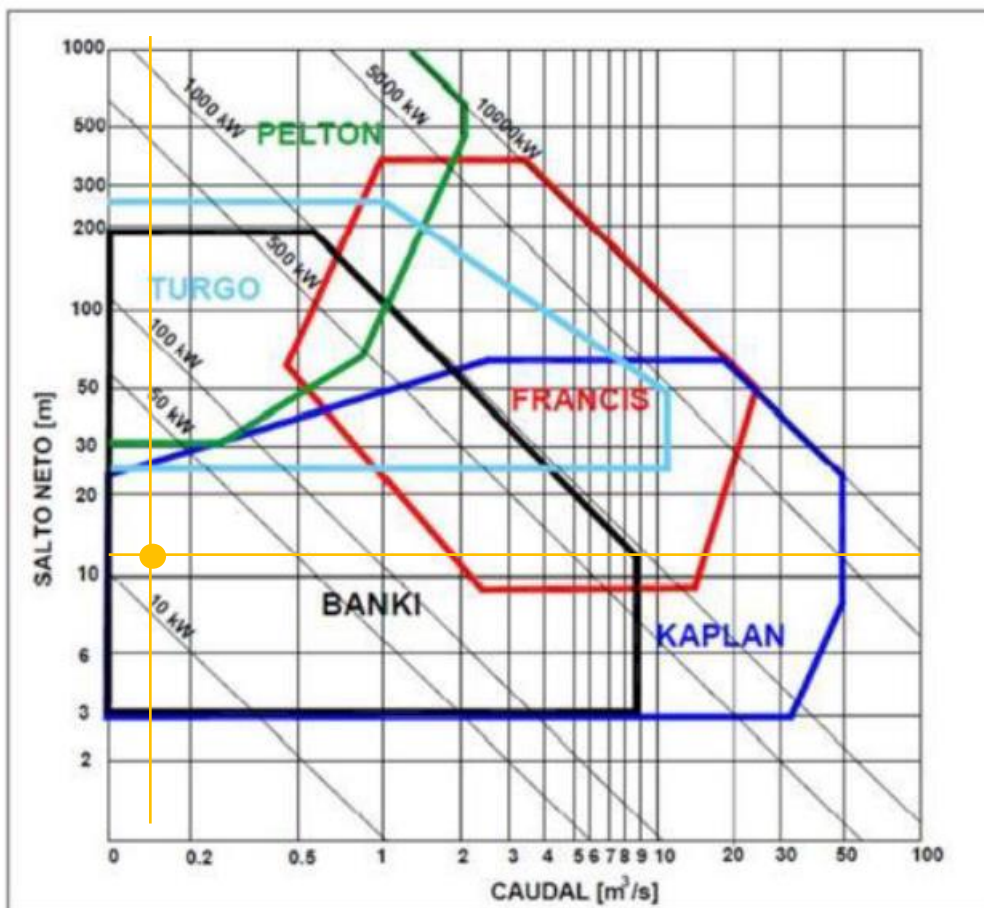


Ilustración 21 Ábaco Para Selección de Turbina Hidroeléctrica

Fuente: (Mosconi, 2003)

5.7.4 SELECCIÓN DE TURBINA KAPLAN

La velocidad específica es un factor que determina la categoría del tipo de turbina Kaplan. "Este es un criterio se emplea en la elección de la turbina más adecuada, para un caudal y altura conocidos, en los anteproyectos de instalaciones hidráulicas, consiguiendo una normalización en la construcción de rodets de turbinas." (Rosa, 2014)

Tabla 2 Tipo de Turbina en base a Velocidad Específica

<i>Velocidad Específica Ns</i>	<i>Tipo de Turbina</i>
5 - 30	Pelton con un inyector
30 - 50	Pelton con varios inyectores
50 - 100	Francis lenta
100 - 200	Francis normal
200 - 300	Francis rápida
300 - 500	Francis doble gemela rápida o express
Mas de 500	Kaplan o hélice

Fuente: (Rosa, 2014)

Tabla 3 Características de las Turbinas Convencionales.

Turbina	H mín (m)	H máx (m)	Q mín (m3/s)	Q máx (m3/s)	H/Q mín	H/Q máx
Pelton	40.00	1000.00	0.10	2.50	400.00	400.00
Turgo	70.00	250.00	0.10	10.00	700.00	25.00
Francis	4.00	300.00	0.50	25.00	8.00	12.00
Kaplan	4.00	75.00	0.10	65.00	40.00	1.15
Flujo Cruzado	4.00	150.00	0.20	10.00	20.00	15.00
Rueda Chorro Superior	2.00	8.00	0.02	0.75	100.00	10.67
Tornillo de Arquímedes	1.50	4.50	0.50	6.00	3.00	0.75
Rueda Chorro Inferior	0.15	3.50	0.40	3.00	0.38	1.17

Fuente: (Rosa, 2014)

$$Ns \text{ (velocidad específica)} = \frac{N\sqrt{P}}{(h)^{\frac{5}{4}}}$$

Ecuación 11 Velocidad Específica.

Donde:

- N = Velocidad de giro [m]
- P = Potencia de la turbina [m]
- h = Altura de salto [m]

$$P \text{ (Potencia Real Generada)} = g * Q * H * \rho * n * R$$

Ecuación 12 Potencia Real Generada.

Donde:

- P = Potencia Real Generada por la Turbina [kW]
- g = Magnitud de la Gravedad = 9.81 [m/s²]
- Q = Caudal de diseño [m³/s]
- H = Diferencia de altura del punto de almacenamiento al punto de instalacion de turbina [m]
- ρ = 1,000 [kg/m³]
- R = Rendimiento por Caudal de Diseño [porcentaje]
- n = Eficiencia mínima de la turbina (porcentaje)

$$A = \pi r^2$$

Ecuación 13 Área Transversal de la Tubería.

Donde:

- A = Área transversal de la tubería [m²]
- π = 3.14 [-]
- r = Radio de la tubería para turbina = 0.1016 [m]

$$V = \frac{Q}{A}$$

Ecuación 14 Velocidad del Agua en la Tubería para Turbina.

Donde:

- V = Velocidad del Agua en la Tubería para turbina
- A = Área transversal de la tubería [m^2]
- Q = Caudal que demanda la turbina [m^3/s]

$$\text{Ratio } Q/Q_{\text{diseño}} = \frac{Q}{Q_{\text{diseño}}}$$

Ecuación 15 Ratio $Q/Q_{\text{diseño}}$

Donde:

- Ratio $Q/Q_{\text{diseño}} = [-]$
- Q = Caudal demandado por la turbina [m^3/s]
- $Q_{\text{diseño}}$ = Caudal de diseño de la tubería para la turbina [m^3/s]

5.7.5 DEMANDA HÍDRICA DE LA TURBINA KAPLAN

Una vez validada la selección del tipo de turbina se procede a obtener una demanda hídrica de la turbina. Para esta tarea, es necesario determinar la cantidad de tiempo que se pondrá en funcionamiento la turbina; pero también el caudal que consumirá dicha turbina por el tiempo estipulado. Para calcular la demanda hídrica de la turbina se utiliza la siguiente **Ecuación 16**:

$$\text{Demanda Hídrica Turbina} = T * Q_F$$

Ecuación 16 Demanda Hídrica de Turbina.

Donde:

- Demanda Hídrica Turbina = Cantidad de Agua Necesaria para Alimentar la Turbina [m^3]
- T = Tiempo de funcionamiento de la Turbina [segundos]
- Q_F = Caudal Indicado por el Fabricante [m^3/s]

5.7.6 DIMENSIONAR EL VOLUMEN DEL ESTANQUE

En este punto ya se puede dimensionar el volumen del estanque necesario para almacenar el agua suficiente para proveer una autonomía de tres días. Para calcular el volumen necesario se debe utilizar la siguiente Ecuación:

$$\text{Volumen del Tanque} = (\text{Dem. Híd. de los Aguacates} + \text{Demanda Hídrica Turbina}) \times 3$$

Ecuación 17 Volumen del Estanque

- *Volumen del Estanque* = Volumen de almacenamiento de agua necesario [m^3]
- *Dem. Híd. de los Aguacates* = Demanda Hídrica total diaria de la plantación de aguacates [m^3]
- Demanda Hídrica Turbina = Cantidad de Agua Necesaria para Alimentar la Turbina [m^3]

5.7.7 SELECCIÓN DE MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO

Para la instalación del módulo solar fotovoltaico, se debe de saber cuál es la demanda que se desea alimentar. Cuando se obtienen esos datos se empieza con la simulación y estudios para conocer la manera se deberá de realizar la instalación. Uno de los primeros pasos es determinar el ratio DC/AC, el cual es necesario calcular para no sobredimensionar los módulos e inversores seleccionados.

$$\text{Ratio } \frac{DC}{AC} = \frac{\text{Capacidad Nominal DC}}{\text{Capacidad Nominal AC}}$$

Ecuación 18 Ratio DC/AC

Donde:

- Capacidad Nominal DC: La potencia máxima en corriente continua que tiene el Módulo Solar Fotovoltaico [kW]
- Capacidad Nominal AC: La potencia máxima en corriente alterna que tiene el Inversor para transformar la corriente continua del Módulo Solar Fotovoltaico [kW]

Para conocer cuál será la capacidad instalada del arreglo solar, se deberá de conocer cuántos módulos se deberán de instalar y su potencia. De esa manera se sabrá si el arreglo solar podrá abastecer de electricidad de lo que se desee alimentar. En este proyecto se desea alimentar una bomba de 60 kW.

$$\text{Capacidad Nominal en DC Instalada} = \text{Potencia en DC} \times \text{Cantidad de Módulos a Instalar}$$

Ecuación 19 Capacidad Nominal en DC del Arreglo Solar.

Donde:

- Capacidad Nominal en CD Instalada [kW] = Capacidad Total del Arreglo Fotovoltaico
- Potencia en DC [kW] = Potencia Nominal de cada Módulo Fotovoltaico
- Cantidad de Módulos [-] = Número de Módulos Fotovoltaicos Necesarios para alcanzar la Potencia en DC deseada para Todo el Arreglo

Para saber cuántos módulos se deberán de instalar por inversor, se deberá de sacar un rango, por el cual se obtendrán los datos mínimos y máximos.

$$\# \text{ M\u00ednimo de M\u00f3dulos} = \frac{V_{\text{m\u00ednimo de entrada del Inversor}}}{V_{\text{m\u00ednimo m\u00f3dulo FV}} (1 - \text{Factor de Degradaci\u00f3n})$$

Ecuaci\u00f3n 20 N\u00famero M\u00ednimo de M\u00f3dulos.

Donde:

- $V_{\text{m\u00ednimo de entrada del Inversor}}$: es el Voltaje m\u00ednimo del Inversor [V]
- $V_{\text{m\u00ednimo m\u00f3dulo FV}}$: Voltaje m\u00ednimo del M\u00f3dulo Solar Fotovoltaico [V]
- Factor de Degradaci\u00f3n: Se asumir\u00e1 un factor de degradaci\u00f3n de 0.10%

Para lograr la obtenci\u00f3n del dato del rango de m\u00f3dulos solares que se deber\u00e1n de instalar en los inversores, se deber\u00e1 de saber el voltaje m\u00ednimo y m\u00e1ximo del m\u00f3dulo solar.

$$V_{\text{M\u00ednimo m\u00f3dulo FV}} = V_{mp} + (T_{\text{promedio}} + T_{\text{rise}} - T_{\text{stc}}) \times \frac{T_{C_{pmax}}}{100} \times V_{mp}$$

Ecuaci\u00f3n 21 Voltaje M\u00ednimo del M\u00f3dulo Fotovoltaico.

Donde:

- V_{mp} = Voltaje de m\u00ednima potencia del m\u00f3dulo solar [V]
- T_{prom} = Temperatura del lugar [°C]
- T_{rise} = Incremento de temperatura seg\u00fan montaje [°C]
- T_{STC} = Temperatura de Standard Test Conditions [25 °C]
- T_{cpmax} = Coeficiente de Temperatura de Potencia [%/ °C]

$$\# \text{ M\u00e1ximo de m\u00f3dulos} = \frac{V_{\text{m\u00e1ximo de entrada del Inversor}}}{V_{\text{m\u00e1ximo m\u00f3dulo FV}}}$$

Ecuaci\u00f3n 22 N\u00famero M\u00e1ximo de M\u00f3dulos.

Donde:

- $V_{\text{m\u00e1ximo de entrada del Inversor}}$: Voltaje M\u00e1ximo de entrada del Inversor [V]
- $V_{\text{m\u00e1ximo m\u00f3dulo FV}}$: Voltaje M\u00e1ximo del m\u00f3dulo Fotovoltaico [V]

$$V_{\text{Mínimo módulo FV}} = V_{oc} + (T_{\text{mín}} - T_{\text{stc}}) \times \frac{TC_{voc}}{100} \times V_{oc}$$

Ecuación 23 Voltaje Máximo del Módulo Fotovoltaico.

Donde:

- V_{oc} = Voltaje de circuito abierto del módulo [V]
- $T_{\text{mínima}}$ = Temperatura mínima del lugar [°C]
- T_{STC} = Temperatura de Standard Test Conditions [25 °C]
- TC_{voc} = Coeficiente de Temperatura de Voltaje de Circuito abierto [%/C]

Las cadenas recomendadas en paralelo son las cadenas que se instalarán por tracker (si el inversor cuenta con más de un tracker), si el inversor no tiene trackers, esa cantidad de cadenas se instalarán en el inversor general.

$$\# \text{ Máximo de Cadenas Recomendadas en Paralelo} = \frac{\text{Corriente Corto Circuito del Inversor}}{\text{Corriente Corto Circuito del Módulo}}$$

Ecuación 24 Número Máximo de Cadenas Recomendadas en Paralelo.

$$\text{Ratio } \frac{DC}{AC} = \frac{\text{Cant de mód. por tracker} \times \text{Cant de cad} \times \text{Pot}}{\text{Potencia en AC}}$$

Ecuación 25 Ratio $\frac{DC}{AC}$ por Inversor.

Donde:

- Cant. de mód. : Cantidad de Módulos Solares que se utilizarán por cadena [-]
- Cant de cad. : Cantidad de Cadenas que se utilizaran en todo el inversor [-]
- Pot.: Potencia Nominal del módulo solar [kW]
- Potencia en AC: Potencia nominal del inversor [kW]

5.7.6. ANÁLISIS FINANCIERO

Para realizar un análisis financiero de un proyecto de esta índole, es importante considerar los ingresos que se obtendrán. Tomando en cuenta parámetros como costo total de la inversión, mantenimiento del sistema, inversión de cultivos y por último los ingresos que la finca generará.

Para determinar la rentabilidad del proyecto se utilizará la **Ecuación 26:**

$$\text{Ratio Costo – Beneficio} = \frac{\text{Ganancia Total}}{\text{Inversión Inicial}}$$

Ecuación 26 Ratio Costo-Beneficio del Proyecto.

Donde:

- Ratio Costo-Beneficio = Debe ser mayor a 1 para considerarse rentable

5.8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación, se presenta las actividades que se realizaron para poder lograr la investigación.

Tabla 4 Cronograma de Actividades

Actividades	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Definir el Problema	x									
Recopilar Información		x	x							
Metodología			x	x	x					
Resultados y Análisis				x	x	x	x			
Introducción y Resumen							x			
Conclusiones								x		
Informe y Presentación									x	
Artículo Científico									x	x

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se describirá la obtención de resultados de esta investigación, para analizar si el proyecto resultará factible.

6.1 CÁLCULO DE LA DEMANDA HÍDRICA DE LOS CULTIVOS DE AGUACATES

Para conocer el consumo de los cultivos de aguacates en la finca, se consideró que ocho litros por segundo se utilizan para este tipo de planta. Lo cual solamente se deberá de regar ese volumen por 45 minutos (Guerra, Grajales, & Roa). En la **Ecuación 5** se aprecia la obtención de la demanda hídrica.

$$Dem. Híd. de los Aguacates = Cant. de Agua \times Cant. de Árboles \times Tiempo de Riego$$

Donde:

- *Dem. Híd. del aguacate* = Demanda Hídrica total diaria de la plantación de aguacates [litros]
- Cant. de Agua = 8.0 [litros/hora]
- Cant. de Árboles = 1260 (180 árboles por manzana) [-]
- Tiempo de Riego = 0.75 [hora]

$$Dem. Híd. de los Aguacates = 7560 \text{ litros } (7.56 \text{ m}^3)$$

6.2 CÁLCULOS PARA LA SELECCIÓN DE BOMBA PARA EL TRANSPORTE DE AGUA AL ESTANQUE

Para la selección de bomba primero se deberá considerar todo tipo de pérdidas que pueda tener la tubería, las pérdidas están distribuidas como pérdidas primarias y pérdidas secundarias. Las pérdidas primarias son cuando el fluido tiene rozamiento con la tubería; puede que sea flujo laminar o turbulento. Las pérdidas secundarias son cuando el fluido pasa por los accesorios de la tubería, siendo codos, contracción brusca y todo tipo de ampliaciones o disminuciones. En la ecuación se calcula un factor de fricción que nos permite definir las pérdidas primarias en la tubería.

$$\text{Factor de Fricción } (f) = 0.01 \left(\frac{k}{D} \right)^{0.134}$$

El factor de fricción está regido por el material de la tubería a utilizar. En la **Tabla 5** se muestran algunas de las opciones más utilizadas. El diseño de este proyecto plantea utilizar tubería PVC para el trayecto del agua hasta la zona de almacenamiento, y en la parte de succión de utilizará tubo de hierro fundido nuevo para poder soportar la presión del caudal del río.

Tabla 5 Coeficiente de Fricción de acuerdo al material.

Material	K (mm)
Tubo de acero (nuevo)	1,15
Tubo de hierro fundido (nuevo)	2,50
Tubo de acero corroído (en operación)	5,00
Tubo plástico	0,50

Fuente: (Flórez, 2011)

Se muestra el procedimiento para la obtención del factor de fricción para la tubería PVC, utilizando datos que se aplicarán en la investigación.

$$\text{Factor de Fricción PVC } (f) = 0.01 \left(\frac{5 \times 10^{-4} \text{ m}}{.2030 \text{ m}} \right)^{0.134}$$

Donde:

- f = Coeficiente de fricción [-]
- $k = 5 \times 10^{-4} \text{ [m]}$
- $D = 0.2032 \text{ [m]}$ ó 8 [pulgadas]

$$\text{Factor de Fricción PVC } (f) = 4.4715 \times 10^{-3}$$

Aplicándose la **Ecuación 6**, se obtendrá el factor de fricción de tubo de hierro fundido, ya que este se colocará como tubería de succión del río hacia la bomba. A continuación, se mostrará el procedimiento para la obtención del factor de fricción para la tubería de Hierro Fundido, utilizando datos que se aplicaran en la investigación.

$$\text{Factor de Fricción Tubo de Hierro Fundido } (f) = 0.01 \left(\frac{2.5 \times 10^{-3} \text{ m}}{.31 \text{ m}} \right)^{0.134}$$

Donde:

- f = Coeficiente de fricción [-]
- $k = 2.5 \times 10^{-3} \text{ [m]}$
- $D = 0.31 \text{ [m]}$

$$\text{Factor de Fricción Tubo de Hierro Fundido } (f) = 5.2418 \times 10^{-3}$$

6.2.1 PÉRDIDAS PRIMARIAS EN TUBERÍA DE BOMBEO

La ecuación de Darcy-Weisbach es una ecuación utilizada en hidráulica. Se encarga de obtener las pérdidas de carga debido a la fricción de la tubería cuando se encuentra llena. Esta Ecuación se realiza para poder lograr una evaluación apropiada a cada uno de los factores que pueden incidir en la pérdida de energía en las tuberías. Para calcular las pérdidas primarias que son por longitud y fricción se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach que se muestra en la **Ecuación 7**.

$$\text{Pérdidas Primarias } (h_1) = f * \frac{L}{D} * \frac{V^{0.134}}{2g}$$

6.2.2 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS PRIMARIAS EN TUBERÍA DE BOMBEO

Para calcular las pérdidas primarias (por longitud y fricción) se utiliza la ecuación de Darcy-Weibasch que se muestra en la **Ecuación 7**. Realizandose el cálculo para la tubería de PVC.

$$\text{Pérdidas Primarias en PVC } (h_1) = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

- $h_1 = \text{Pérdidas Primarias [m]}$
- $f = 4.4715 \times 10^{-3} [-]$
- $L = 148.86 \text{ [m]}$
- $D = 0.450 \text{ [m]}$
- $V = 1.08 \text{ [m/s]}$
- $g = \text{Magnitud de la gravedad} = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$

A continuación se mostrará las Pérdidas Primarias en PVC, con los datos mostrados anteriormente.

$$\text{Pérdidas Primarias en PVC } (h_1) = 0.0879 \text{ m}$$

6.2.3 PÉRDIDAS SECUNDARIAS EN TUBERÍA DE BOMBEO

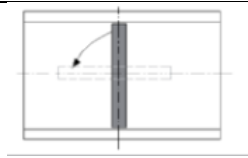
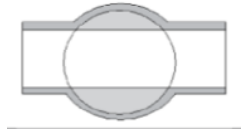
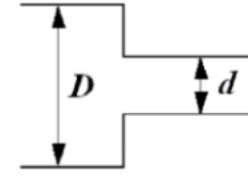



Las pérdidas secundarias son aquellas que se deben por accesorios como codos, válvulas, conexiones en T y todo aquel que tenga propósito de desviar o aumentar la tubería. Para calcular estas pérdidas se utiliza la **Ecuación 8**.

$$\text{Pérdidas Secundarias } (h_2) = \epsilon \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

El coeficiente de pérdidas por accesorios se determina con las tablas que se muestran en **Anexos** siendo la **tabla 11** y **tabla 12**.

En la **Tabla 6** se puede mostrar los distintos accesorios que se utilizan en las tuberías, con su coeficiente de coeficiente de pérdidas secundarias con accesorios.

Tabla 6 Pérdidas Secundarias por Accesorios.

Pérdida Secundaria			ξ
Accesorio	Tipo		
Válvula	Mariposa		0,2 - 0,4
	Esférica		0,1
Contracción brusca	D/d = 0,50		0,15
	D/d = 0,60		0,20
	D/d = 0,70		0,25
	D/d = 0,80		0,30
Rejilla con barrotes	En borde vivo o agudo		2,4
	En borde ligeramente redondeado o circular		1,0 - 1,8
	En borde hidráulico		0,8

Fuente: (Flórez, 2011)

A continuación, se obtendrán las pérdidas secundarias por válvula de mariposa. Utilizando la **Ecuación 8** para la obtención de este dato.

$$Pérdidas\ Secundarias\ por\ Válvula\ Mariposa\ (h_2) = \xi \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde:

Los parámetros mostrados se indican para la tubería del trayecto del agua bombeada.

- $h_2 = \text{Pérdidas Secundarias [m]}$
- $\xi = 0.4 [-]$
- $V = 1.08 \text{ [m/s]}$
- $g = \text{Magnitud de la gravedad} = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$

Sustituyendo los datos obtenidos anteriormente, se tiene el dato de las pérdidas secundarias por válvula mariposa:

$$\text{Pérdidas Secundarias por Válvula Mariposa (} h_2 \text{)} = 0.0237 \text{ m}$$

A continuación, se obtendrán las pérdidas secundarias por ampliación brusca. Utilizando la **Ecuación 8** para la obtención de este dato.

$$\text{Pérdidas Secundarias por Ampliación Brusca (} h_2 \text{)} = \xi \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde:

Los parámetros mostrados se indican para una ampliación de tubería de 266 mm a una tubería de 450 mm. Esta ampliación se decide ejecutar para disminuir la velocidad del flujo de agua y así disminuir pérdidas por rozamiento en la tubería.

- $h_2 = \text{Pérdidas Secundarias [m]}$
- $\xi = 0.20 [-]$
- $V = 1.08 \text{ [m/s]}$ (Con diámetro de 450 mm y Caudal de $0.172 \text{ m}^3/\text{s}$)
- $g = \text{Magnitud de la gravedad} = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$

$$\text{Pérdidas Secundarias por Ampliación Brusca (} h_2 \text{)} = 0.0118 \text{ m}$$

Hay que tomar en cuenta que en el trayecto de la tubería de bombeo se cuenta con dos codos abiertos. La suma de las pérdidas por accesorios nos da un total de 2.11 metros.

6.2.4 CÁLCULO DE LA ALTURA MANOMÉTRICA

En este punto ya contamos con la altura geométrica y las pérdidas en tubería. Con estos dos parámetros podemos calcular la altura manométrica H_m con la **Ecuación 9**.

Sustituyendo la **Ecuación 9** por datos que se aplicarán en la investigación.

$$H_m = H_g + h_1 + \sum h_2$$

Donde:

- $H_g = 45.00 [m]$
- $h_1 = 0.0879 [m]$
- $\sum h_2 = 0.0355 [m]$

$$H_m = 45.13 \text{ metros}$$

Con esta información obtenida, podemos ubicarnos en la **Ilustración 21**, y podemos validar que a esta altura aún se refleja una eficiencia de la bomba aproximadamente de un 86%.

6.2.5 CÁLCULO DEL CAUDAL A BOMBLEAR

Como segundo criterio el proyecto se limita a seleccionar una bomba que pueda subir 100 litros por segundo a una altura de 45 metros. Esta referencia está regida por detalles del fabricante, en este caso Bombas Ideal. La curva de operación de la bomba CPH 200-320 muestra una eficiencia del 86% con un flujo de 200 litros por segundo. Esta bomba cumple con los requisitos mínimos que requiere el proyecto ya que sí alcanza a subir 172 litros por segundo durante las 7 horas de sol que se necesitan. Es importante destacar que este caudal definido se basa en el volumen de agua que se consumen diariamente mediante la turbina Kaplan y el sistema de riego. Este volumen de agua demandada diariamente es de $4,327.6 \text{ m}^3$, tomando en cuenta 12 horas de funcionamiento de la turbina y 45 minutos de riego de árboles de aguacates. Ahora, la

bomba seleccionada permite suministrar al estanque un volumen de 4,334.4 m³ en las siete horas disponibles de sol. A continuación, se puede observar la curva de operación de la bomba.

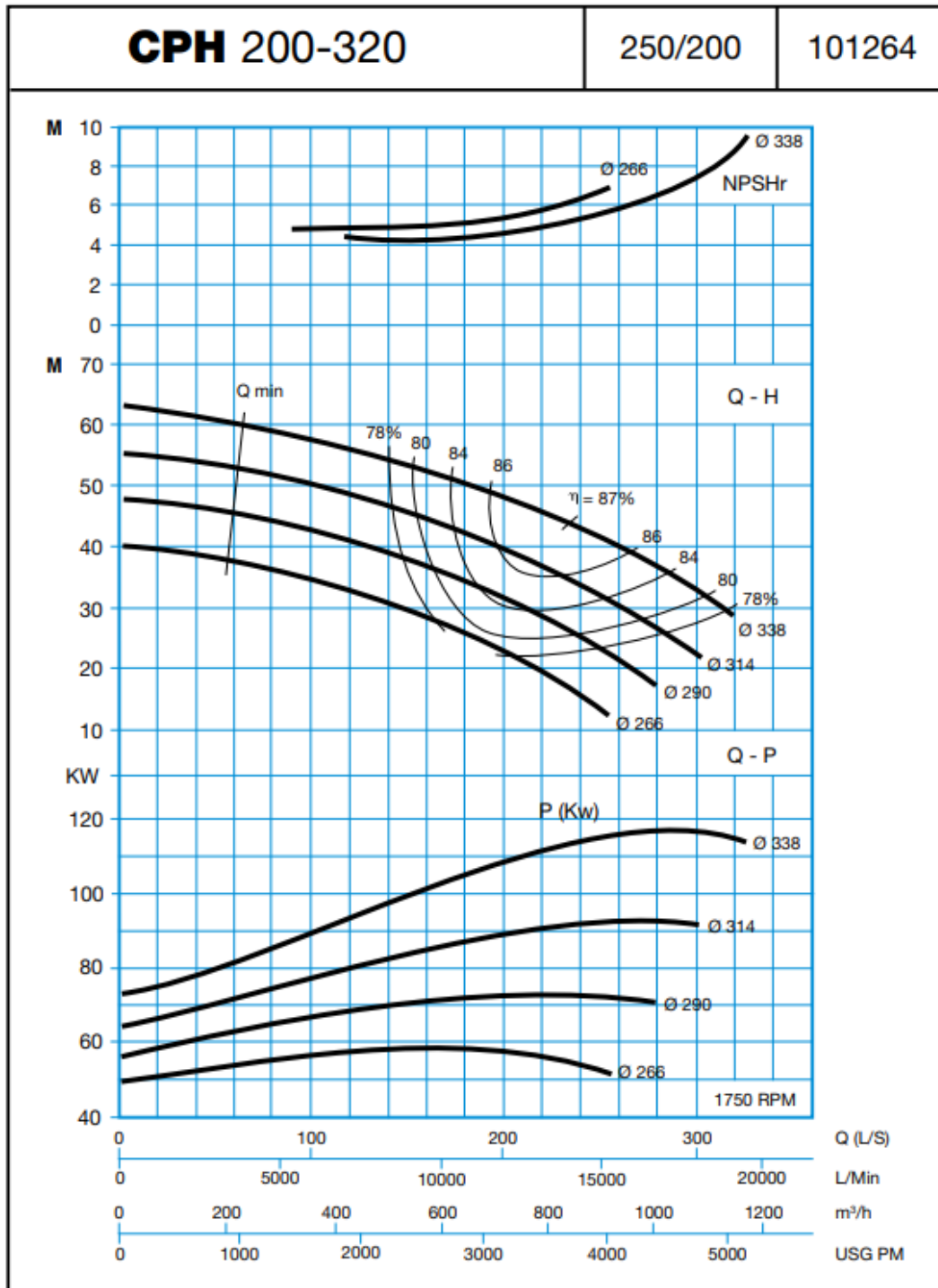


Ilustración 22 Curva Operativa de la Bomba.

Fuente: Bombas Ideal

6.2.6 CÁLCULO DEL ANPA (ALTURA NETA POSITIVA EN LA ASPIRACIÓN)

El ANPA es la cantidad de presión atmosférica que se necesita para lograr empujar el fluido hacia la bomba. Es considerado un parámetro importante en el circuito de bombeo, ya que ayuda a conocer la cavitación y cercanía de la instalación.

Para el cálculo del ANPA se utiliza la **Ecuación 10**.

$$ANPA\ disponible = H_s + H_a - H_{vp} - H_f$$

Tabla 7 Disminución de la Presión Atmosférica.

Altura Sobre el nivel del mar		Presión atmosférica (PA)	
m	ft	m	PA
0	0	10.33	14.69
250	820	10.03	4.26
500	1,640	9.73	13.83
750	2,640	9.43	13.41
1,000	3,280	9.13	12.98
1,250	4,101	8.83	12.55
1,500	4,291	8.53	12.13
1,750	5,741	8.25	11.73
2,000	6,561	8	11.38
2,250	7,381	7.75	11.02
2,500	8,202	7.57	10.68
2,750	9,022	7.28	10.35
3,000	9,842	7.05	10.02
3,250	10,662	6.83	9.71
3,500	11,483	6.62	9.42
3,750	12,303	6.41	9.12
4,000	13,123	6.2	8.82
4,250	13,943	5.98	8.52

Fuente: Mecánica de Fluidos Robert L. Mott 2008

Tabla 8 Aumento de Carga de Presión.

Temperatura °C	Presión de vapor Kpa (abs)	Peso Específico (KN/mt ³)	Carga de presión de vapor (mt)
0	0.6105	9.806	0.06226
5	0.8722	9.807	0.08894
10	1.228	9.804	0.1253
20	2.338	9.789	0.2388
30	4.243	9.765	0.4345
40	7.376	9.731	0.758
50	12.33	9.69	1.272
60	19.92	9.642	2.066
70	31.16	9.589	3.25
80	47.34	9.53	4.967
90	70.1	9.467	7.405
100	101.3	9.399	10.78

Fuente: (Mecánica de Fluidos Robert L. Mott, 2008)

A continuación, se obtendrán las pérdidas secundarias por accesorio en tubería. Utilizando la **Ecuación 8** para la obtención de este dato.

$$\text{Pérdidas por accesorios en tubería (hf)} = \xi \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde:

- hf = Pérdidas por accesorios en tubería [m]
- $\xi = 0.40$ [-]
- $V = 3.09$ [m/s] (calculada con un caudal de $.172$ m³/s y diametro de 266 mm)
- g = Magnitud de la gravedad = 9.81 [m/s²]

Sustituyendo los datos obtenidos anteriormente, se tiene el dato de las pérdidas por accesorios en tubería:

$$\text{Pérdidas por accesorios en tubería (hf)} = 0.1946 \text{ m}$$

A continuación, se obtendrá el ANPA disponible. Utilizando la **Ecuación 9** para la obtención de este dato.

$$ANPA\ disponible = H_s + H_a - H_{vp} - H_f$$

Donde:

- $H_s = 9.13$ a alrededor de 1025 msnm [m]
- $H_a = 3$ [m]
- $H_{vp} = 0.238$ a 25 °C [m]
- $H_f = .1946$ [m]

Sustituyendo los datos obtenidos anteriormente, se tiene el ANPA disponible:

$$ANPA\ disponible = 12.57\ m$$

Se cumple el criterio ya que el ANPA disponible es de 12.57 metros, y el ANPA requerido por la bomba es de aproximadamente 6 metros.

6.3 CÁLCULOS PARA SELECCIÓN DE TURBINA

Para saber cuál será la turbina que necesita instalarse, se debe de tomar en cuenta la demanda que se necesita, y así decidir de cuánto será la potencia de la turbina que se desea instalar. Tomando en cuenta que se debe de agregar otro parámetro que es indispensable, que es la velocidad específica.

6.3.1 VELOCIDAD ESPECÍFICA (Ns)

“La velocidad específica es sin lugar a duda uno de los parámetros principales para describir el comportamiento de las turbinas, debido a que es a partir de este parámetro que fija la velocidad de giro de la turbina. La **Ecuación 11** es para obtener la velocidad específica:” (Escobar., 2007)

$$Ns\ (velocidad\ específica) = \frac{N\sqrt{P}}{(h)^{\frac{5}{4}}}$$

6.3.2 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA TURBINA

Para obtener la velocidad específica de la turbina, se deberá de utilizar la

Ecuación 11.

$$Ns \text{ (velocidad específica)} = \frac{N\sqrt{P}}{(h)^{\frac{5}{4}}}$$

Donde:

- $N = 750$ [revoluciones por minuto]
- $P = 10,000$ [W]
- $h = 8.0$ [m]

Sustituyendo los datos obtenidos anteriormente, se tiene la velocidad específica :

$$Ns \text{ (velocidad específica)} = 5,571.4$$

Con este cálculo se puede categorizar nuestra turbina como tipo de Turbina Kaplan, y cumple el criterio de velocidad específica siendo este mayor a 500.

6.3.3 ENERGÍA ELÉCTRICA GENERADA POR LA TURBINA

El cálculo de la energía generada depende de los parámetros que se muestran en la **Ecuación 12.**

$$P \text{ (Potencia Real Generada)} = g * Q * H * \rho * n * R$$

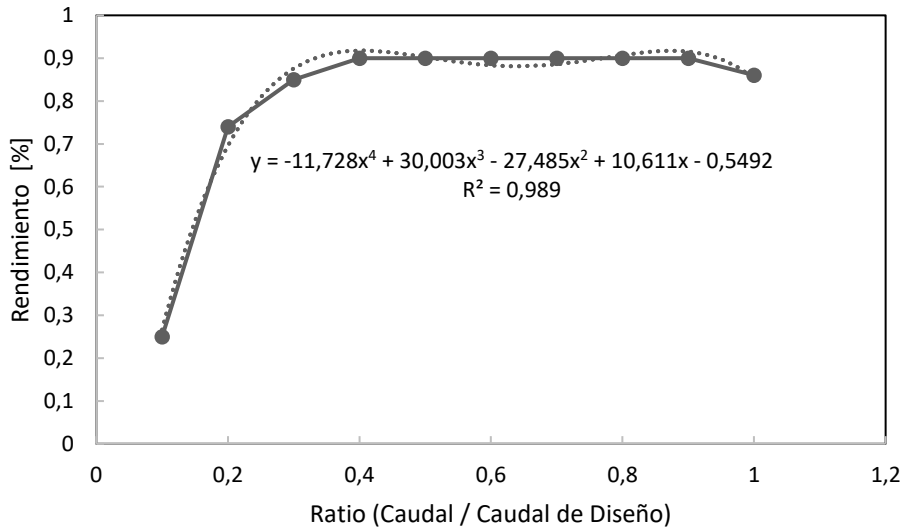


Ilustración 23 Curva de Operación de Turbina Kaplan

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

6.3.4 CÁLCULO DEL PERDIDAS POR TUBERÍA PARA LA TURBINA KAPLAN

Para obtener una altura H correcta, necesaria en calculo de de generacion de energia electrica; es necesario calcular las perdidas por tuberia utilizando la **Ecuacion 7** que se muestra a continuacion::

$$(h1) = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

- $h1$ = Pérdidas Primarias por Tuberia PVC para Turbina Kaplan [m]
- $f = 4.4715 \times 10^{-3}$ [-]
- $L = 51.57$ [m]
- $D = 0.355$ [m] (Tuberia PVC 14" y Caudal de $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$)
- $V = 1.01$ [m/s]
- g = Magnitud de la gravedad = $9.81 \text{ [m/s}^2]$

$$(h_1) = 0.0337 \text{ m}$$

A continuación, se obtendrán las pérdidas secundarias por válvula de mariposa. Utilizando la **Ecuación 8** para la obtención de este dato.

$$\text{Pérdidas Secundarias por Válvula Mariposa } (h_2) = \xi \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde:

Los parámetros mostrados se indican para la tubería del trayecto del agua bombeada.

- $h_2 = \text{Pérdidas Secundarias [m]}$
- $\xi = 0.4 [-]$
- $V = 1.08 \text{ [m/s]}$
- $g = \text{Magnitud de la gravedad} = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$

Sustituyendo los datos obtenidos anteriormente, se tiene el dato de las pérdidas secundarias por válvula mariposa:

$$\text{Pérdidas Secundarias por Válvula Mariposa } (h_2) = 0.0237 \text{ m}$$

6.3.5 CÁLCULO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA GENERADA POR LA TURBINA

Para obtener la velocidad específica de la turbina, se deberá de utilizar la **Ecuación 12**.

$$P (\text{Potencia Real Generada}) = g * Q * H * \rho * n * R$$

Donde:

- $P =$ Potencia Real Generada por la Turbina $[kW]$
- $g =$ Magnitud de la Gravedad $= 9.81 [m/s^2]$
- $Q = 0.10 [m^3/s]$
- $H = 9.94 [m]$
- $\rho = 1000 [kg/m^3]$
- $R = 0.8518 [\%]$
- $n = 0.93 [\%]$

Sustituyendo los datos obtenidos anteriormente, se obtiene la potencia generada:

$$P \text{ (Potencia Real Generada)} = 7.72 \text{ kW}$$

6.3.6 CÁLCULO DEL CO $Q/Q_{\text{DISEÑO}}$

En este proyecto se pretende utilizar un caudal de alimentación de turbina similar al caudal de diseño. Es recomendable diseñar un caudal de diseño que permita velocidades menores a 1.2 m/s para evitar un exceso de pérdidas por tubería. Debido a esto se ha dimensionado un diámetro de tubería que coincide con el diámetro de succión de la turbina (Diámetro de 355mm para tubería de 14 pulgadas), pero que también brinde un área transversal que no exceda una velocidad de flujo de 1.2 m/s. En la **Ecuación 13** se puede mostrar el área transversal de la tubería.

$$A = \pi r^2$$

Donde:

- $A =$ Área transversal de la tubería $[m^2]$
- $\pi = 3.14 [-]$
- $r =$ Radio de la tubería para turbina $= 0.1775 [m]$

$$A = 0.0989 \text{ m}^2$$

Utilizando el área transversal de la tubería obtenida y el caudal que demanda la turbina se puede calcular la velocidad a la cual se va trasladar el agua en la **Ecuación 14**.

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

- V = Velocidad del Agua en la Tubería para turbina = $[m/s]$
- A = Área transversal de la tubería = $0.0989 [m^2]$
- Q = Caudal que demanda la turbina = $0.10 [m^3/s]$

$$V = 1.01 m/s$$

Con este resultado se puede tener la certeza de que no se obtendrá un exceso de pérdidas por tubería. En este punto ya se validó la velocidad del agua en la tubería, y con esto mismo se coincide el caudal demandado por la turbina con el caudal de diseño de la tubería. A continuación, en la **Ecuación 15** se calcula el Ratio $Q/Q_{diseño}$:

$$\text{Ratio } Q/Q_{diseño} = \frac{Q}{Q_{diseño}}$$

Donde:

- Ratio $Q/Q_{diseño} = [-]$
- Q = Caudal demandado por la turbina = $0.10 [m^3/s]$
- $Q_{diseño}$ = Caudal de diseño de la tubería para la turbina = $0.10 [m^3/s]$

$$\text{Ratio } Q/Q_{diseño} = 1.0$$

Una vez obtenido el Ratio $Q/Q_{\text{diseño}}$, es posible determinar el rendimiento de la turbina Kaplan utilizando la **Ilustración 22**.

6.3.7 CÁLCULO DE DEMANDA HÍDRICA DE LA TURBINA KAPLAN

Con la turbina que se seleccionó en el proyecto, se necesita abastecer un caudal de 100 litros por segundo. Se pondrá en funcionamiento en un total de 12 horas, con un horario de 6:00 PM – 6:00 AM. Con la **Ecuación 16** que se muestra a continuación, se obtiene la demanda hídrica de la turbina:

$$\text{Demanda Hídrica Turbina} = T * Q_F$$

Donde:

- Demanda Hídrica Turbina = Cantidad de Agua Necesaria para Alimentar la Turbina [m^3]
- $T = 43,200$ [segundos] (Calculo en base a 12 horas noche)
- $Q_F = 0.10$ [m^3/s]

Teniendo Como resultado de la demanda hídrica

$$\text{Demanda Hídrica Turbina} = 4,320 m^3$$

6.3.8 DIMENSIONAMIENTO DEL ESTANQUE.

En este proyecto se diseñará un estanque que pueda brindar una autonomía de tres días cumpliendo una demanda de una turbina Kaplan por 12 horas noche y una demanda del sistema de riego diario por 45 minutos en el día.

$$\text{Volumen del Estanque} = (\text{Dem. Híd. de los Aguacates} + \text{Demanda Hídrica Turbina}) \times 3$$

Donde:

- *Volumen del Estanque* = Volumen de almacenamiento de agua necesario [m^3]
- *Dem. Híd. de los Aguacates* = 7.56 [m^3]
- Demanda Hídrica Turbina = 4,320 [m^3]

$$\text{Volumen del Estanque} = (7.56 + 4,320) \times 3$$

$$\text{Volumen del Estanque} = 12,982.7 \text{ m}^3$$

Este volumen obtenido es la demanda diaria del sistema, pero para obtener el volumen adecuado para una autonomía de tres días también es necesario considerar un margen de error y además de esto pérdidas por evaporación. Se considera que un volumen adecuado para el sistema debe ser de 13,200 m^3 .

6.4 SELECCIÓN DE MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A LA BOMBA CENTRÍFUGA

Una vez se selecciona el tipo de bomba que se necesita para la finca, se debe de proseguir a realizar la opción con la que se suministrará la energía eléctrica que necesitará la bomba. Se decidió colocar un sistema fotovoltaico como suministro principal de la bomba centrífuga. Para lograr dimensionar un sistema fotovoltaico que se encuentre de acuerdo al proyecto, se debe de considerar la demanda eléctrica por parte de la bomba, el tipo de bomba centrífuga que se utilizará en el proyecto será bomba de marca Bombas Ideal y de modelo CPR 125-400/2M; este tipo de bomba tiene una potencia nominal de 60 kW.

El arreglo solar fotovoltaico se dimensionó para poder suplir la demanda anual de una bomba centrífuga que se encuentra en una finca ubicada en la aldea La Germania 1, Comayagua, Honduras.

Una vez se sabe la demanda de la bomba, se realizará el cálculo para conocer la cantidad de módulos con la **Ecuación 1**.

$$\# \text{ de módulo} = \frac{\text{Energía demandada} \times \text{Irradiancia AM 1.5}}{\text{Irradiación}_{POA} \times \text{Cap. nom. módulo} \times P.R.}$$

Se realizó una simulación en Helioscope instalándose 115 módulos solares con capacidad de 660 Watts cada uno, obteniendo de potencia nominal de 75.9 kW (capacidad en DC) y capacidad en AC de 66 kW. Esta simulación se utilizó para la obtención de la irradiación solar del sector, teniendo como irradiación de 1,655.66 kWh/m². El arreglo solar tiene un área de aproximadamente 1,304.97 m², la instalación se realizará con una distancia del río de aproximadamente 10 metros.

Para la selección del módulo solar, se desea instalar módulos que sean de una potencia grande que es de 660 Watts, la marca del módulo solar será Trina Solar, TSM-DE21. Este módulo solar tiene un tamaño de 1,303 mm de ancho, 2,384 mm de largo y 35 mm de grosor. Este arreglo solar se encargará de suministrar energía eléctrica a la bomba centrífuga por aproximadamente 8 horas al día. En **Ilustración 23**, se aprecia la producción del primer año, ya que en los próximos años van a ir cambiando de acuerdo a la degradación del módulo solar; teniendo una degradación del primer año de un 2% y después de un 0.55%.

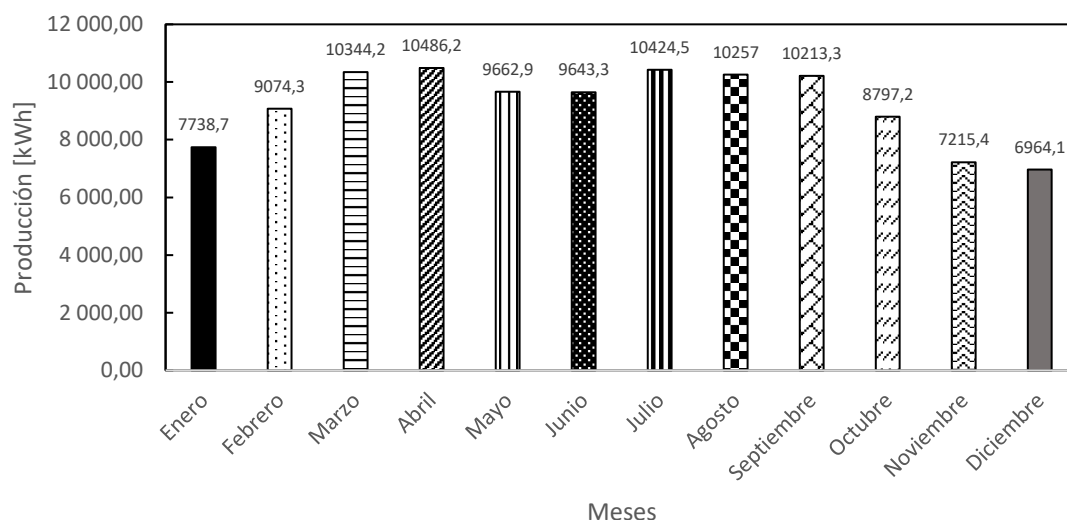


Ilustración 24 Producción Mensual del Primer Año.

6.4.1 SELECCIÓN DE INVERSOR PARA EL ARREGLO SOLAR FOTOVOLTAICO

Como datos se tienen la potencia de la bomba, el tiempo que estará trabajando la bomba, el modelo del módulo solar, la potencia nominal en DC del arreglo solar. Conociendo la potencia nominal del arreglo solar, se escoge el inversor. Para saber si un inversor es adecuado para el proyecto, se debe de sacar el ratio, utilizando la **Ecuación 18**.

$$Ratio \frac{DC}{AC} = \frac{Capacidad\ Nominal\ DC}{Capacidad\ Nominal\ AC}$$

Donde:

- Capacidad Nominal DC= La cantidad máxima de potencia que tiene el Módulo Solar Fotovoltaico [kW]
- Capacidad Nominal AC= La cantidad máxima de potencia que tiene el Inversor para el Módulo Solar Fotovoltaico [kW]

Para que un ratio se considere bueno para el proyecto, debe de tener un rango de 1.10-1.25, este dato no tiene ninguna unidad; considerándose adimensional. El ratio del proyecto es de 1.14, obteniéndose de la siguiente manera:

$$\text{Ratio } \frac{DC}{AC} = \frac{45.5 \text{ kW}}{44.0 \text{ kW}} = 1.14$$

En este proyecto se decidió utilizar inversor de marca Huawei siendo modelo SUN2000-20KTL-M0. El proyecto tendrá dos inversores con capacidad nominal en AC de 44 kW. Se aprecia que en el ratio que se encuentra en la parte superior del párrafo, muestra el ratio del arreglo solar, se considera un ratio bueno para el proyecto que se desea realizar.

6.4.2 DISTRIBUCIÓN DE LOS MÓDULOS SOLARES EN LOS INVERSORES

Para la distribución de los Módulos Solares en los inversores se deben de saber los datos de la **Ecuación 19**.

$$\text{Capacidad Nominal en DC Instalada} = \text{Potencia en DC} \times \text{Cantidad de Módulos a Instalar}$$

Donde:

- Potencia en DC Instalada: La capacidad Nominal de los Módulos Solares [kW]

Para poder saber la capacidad nominal en DC instalada del arreglo solar, se debe de multiplicar la potencia en DC del módulo solar fotovoltaico; siendo la potencia de 660 Watts y la cantidad de módulos que se utilizarán, siendo 115 la cantidad exacta. A continuación, se logrará mostrar el procedimiento.

$$\text{Capacidad Nominal en DC Instalada} = 660W \times 76$$

$$\text{Capacidad Nominal en DC Instalada} = 49,500 W$$

Se realizará conversión de Watts a kilowatts, dividiendo $\frac{1 \text{ kW}}{1,000 \text{ W}}$ se aplicará en el proyecto de la siguiente manera:

$$\text{Conversion de Watt a kilowatt} = 49,500 \text{ Watts} \times \frac{1 \text{ kW}}{1,000 \text{ W}}$$

$$\text{Conversión de Watt a kilowatt} = 49.5 \text{ kW}$$

Este proyecto se instalará sobre suelo natural, para saber la cantidad de módulos que se instalaran distribuidos en los inversores, primero se deberá de sacar un rango de mínimo y máximo de cantidad. Primero se realizará el procedimiento para la obtención de la cantidad mínima de módulos solares fotovoltaicos utilizando la **Ecuación 20**.

$$\# \text{ Mínimo de Módulos} = \frac{V_{\text{mínimo de entrada del Inversor}}}{V_{\text{mínimo módulo FV}} (1 - \text{Factor de Degradación})}$$

Donde:

- $V_{\text{mínimo de entrada del Inversor}}$: es el Voltaje mínimo del Inversor [V]
- $V_{\text{mínimo módulo FV}}$: Voltaje mínimo del Módulo Solar Fotovoltaico [V]
- Factor de Degradación: Se asumirá un factor de degradación de 0.10%

Pero no se puede proceder con la **Ecuación 19**, ya que nos falta el dato del Voltaje mínimo del módulo solar fotovoltaico, obteniéndose con la **Ecuación 20**.

$$V_{\text{Mínimo módulo FV}} = V_{mp} + (T_{promedio} + T_{rise} - T_{stc}) \times \frac{T_{C_{pmax}}}{100} \times V_{mp}$$

Donde:

- V_{mp} = Voltaje de mínima potencia del módulo solar [V]
- T_{prom} = Temperatura del lugar [°C]
- T_{rise} = Incremento de temperatura según montaje [°C]
- T_{STC} = Temperatura de Standard Test Conditions [25 °C]
- T_{cpmax} = Coeficiente de Temperatura de Potencia [%/ °C]

Tabla 9 Tipos de Montajes de los Módulos Solares.

Descripción	T _{rise}
Sobre Losa	36 °C
Sobre Terreno Natural	30 °C
Sobre Techo coplanar	32 °C

Para la obtención de el voltaje, se tienen casi todos los datos por parte de la ficha técnica, menos el T_{rise}, T_{prom} y T_{stc}. El dato de T_{rise} se obtiene mediante el tipo de suelo en el que se va a realizar la instalación; en la **Tabla 9** se mostraran los distintos datos de T_{rise} para la instalación de módulos solares en distintos montajes. El T_{prom} es la temperatura promedio del lugar donde se realizará la instalación y el T_{stc} es un número constante de Temperatura de Standard Test Conditions que es temperatura a 25 °C. A continuación, se mostrará el procedimiento con los datos.

$$V_{\text{Mínimo módulo } FV} = 37.4 V + (30^{\circ}C + 30^{\circ} - 25^{\circ}) \times \frac{-0.34\%}{100} \times 37.4 V$$

$$V_{\text{Mínimo módulo } FV} = 32.94 V$$

Una vez se tiene el voltaje, se continúa sacando la cantidad mínima de módulos que necesita el arreglo solar. Se continuará utilizando la **Ecuación 20**.

$$\# \text{ Mínimo de Módulos} = \frac{150 V}{32.94 V (1 - 0.10)}$$

$$\# \text{ Mínimo de Módulos} = 5.05$$

Cuando se obtiene el dato de la cantidad mínima se debe redondear al número mayor, en este caso se redondearía a 6 módulos.

Se continuará con la obtención de la cantidad máxima para la distribución por inversor, este proceso es parecido al anterior ya que primero se debe de sacar el voltaje máximo del módulo y después continuar con la cantidad que se necesitará. Se mostrará la **Ecuación 22** de la Cantidad de Módulos, seguidamente la del voltaje máximo del módulo.

$$\# \text{ M\u00e1ximo de m\u00f3dulos} = \frac{V_{\text{m\u00e1ximo de entrada del Inversor}}}{V_{\text{m\u00e1ximo m\u00f3dulo FV}}}$$

Donde:

- $V_{\text{m\u00e1ximo de entrada del Inversor}}$: Voltaje m\u00e1ximo de entrada del Inversor [V]
- $V_{\text{m\u00e1ximo m\u00f3dulo FV}}$: Voltaje m\u00e1ximo del m\u00f3dulo fotovoltaico [V]

Se prosigue con la **Ecuaci\u00f3n 23** para la obtenci\u00f3n del voltaje m\u00e1ximo del m\u00f3dulo fotovoltaico.

$$V_{\text{M\u00e1ximo m\u00f3dulo FV}} = V_{oc} + (T_{\text{m\u00edn}} - T_{\text{stc}}) \times \frac{TC_{voc}}{100} \times V_{oc}$$

Donde:

- V_{oc} = Voltaje de circuito abierto del m\u00f3dulo [V]
- $T_{\text{m\u00ednima}}$ = Temperatura m\u00ednima del lugar [$^{\circ}\text{C}$]
- T_{STC} = Temperatura de Standard Test Conditions [25°C]
- TC_{voc} = Coeficiente de Temperatura de Voltaje de Circuito abierto [%/C]

Se mostrar\u00e1 el procedimiento como se obtuvo el voltaje m\u00e1ximo.

$$V_{\text{M\u00e1ximo m\u00f3dulo FV}} = 45.3 \text{ V} + (14^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}) \times \frac{-0.25\%}{100} \times 45.3 \text{ V}$$

$$V_{\text{M\u00ednimo m\u00f3dulo FV}} = 44.05 \text{ V}$$

Cuando se obtiene el dato del voltaje, se continúa para conocer la cantidad máxima de módulos utilizando la **Ecuación 22**.

$$\# \text{ Máximo de módulos} = \frac{1,000 \text{ V}}{44.05 \text{ V}}$$

$$\# \text{ Máximo de módulos} = 22.701$$

El número máximo de módulos se deberá de redondear al número menor, en este caso se usará la cantidad de 22 módulos.

Obteniendo como rango recomendado de módulos solares de 6 – 22 la cantidad promedio que se permitirá utilizar en cada inversor.

A continuación, se deberán de sacar las cadenas que se podrán utilizar por tracker del inversor, es decir que por cada cadena se podrá utilizar el rango antes obtenido. El inversor que se utilizará en el proyecto tiene dos trackers ese dato aparece en la ficha técnica. A continuación, se mostrará la **Ecuación 24** para la obtención de cantidad máxima de cadena, esta cantidad será la que se usará por tracker.

$$\# \text{ Máximo de Cadenas Recomendadas en Paralelo} = \frac{\text{Corriente Corto Circuito del Inversor}}{\text{Corriente Corto Circuito del Módulo}}$$

Sustituyendo por valores reales:

$$\# \text{ Máximo de Cadenas Recomendadas en Paralelo} = \frac{30 \text{ A}}{18.53 \text{ A}}$$

$$\# \text{ Máximo de Cadenas Recomendadas en Paralelo} = 1.61$$

Como es una cantidad máxima, se redondea al número menor, en total se colocará 1 cadena en paralelo por tracker, con un rango de 6 – 22 módulos solares.

A continuación, se mostrará un ejemplo de unas figuras que de manera esquemática se conocen como los inversores de los sistemas fotovoltaicos. Como lo máximo de cadenas que se puede colocar por tracker es solo una y debe de ser dentro de los rangos estipulados anteriormente. Se utilizará en la mayoría de los trackers una cadena de 19 módulos, y otra que será de una cadena de 20 módulos. De esta manera se cumple con el rango dado; a continuación, se sacará el ratio, analizando si resultará factible o no.

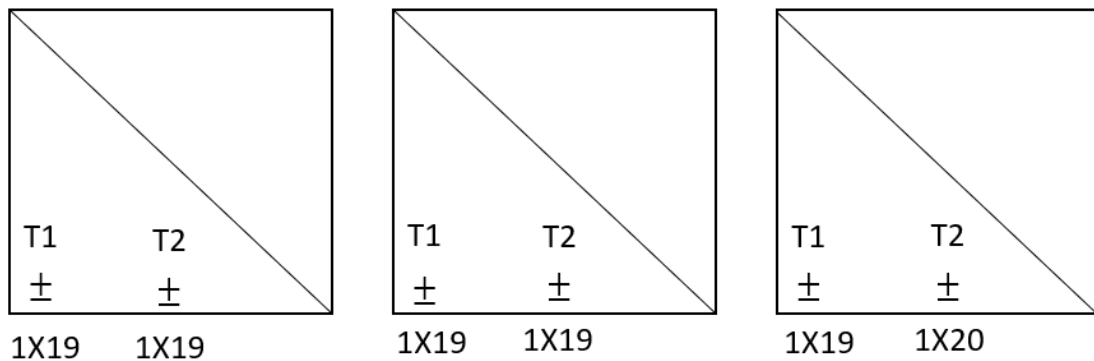


Ilustración 25 Ejemplo de Inversores.

Para poder sacar el ratio, el ratio va a ser igual en 5 trackers, entonces se obtendrá un dato general para los 5 trackers, ya que serán iguales y para el otro tracker que es diferente se obtendrá otro dato el cuál se colocará en el procedimiento para la obtención de este dato. Para esto se sacará con la **Ecuación 25**.

$$Ratio \frac{DC}{AC} = \frac{Cant \ de \ mód. \ por \ tracker \times Cant \ de \ cad \times Pot}{Potencia \ en \ AC}$$

Donde:

- Cant. de mód. : Cantidad de Módulos Solares que se utilizarán por cadena [-]
- Cant de cad. : Cantidad de Cadenas que se utilizaran en todo el inversor [-]
- Pot.: Potencia Nominal del módulo solar [kW]
- Potencia en AC: Potencia nominal del inversor [kW]

Se sustituye por valores para los trackers que usaran 19 módulos solares:

$$\text{Ratio } \frac{DC}{AC} = \frac{19 \times 1 \times 0.66 \text{ kW}}{22 \text{ kW}}$$
$$\text{Ratio } \frac{DC}{AC} = 1.12$$

Se sustituye por valores para el tracker que usará 20 módulos solares:

$$\text{Ratio } \frac{DC}{AC} = \frac{20 \times 1 \times 0.66 \text{ kW}}{22 \text{ kW}}$$
$$\text{Ratio } \frac{DC}{AC} = 1.15$$

El ratio que aparece en la distribución de módulos es de 1.12 para 5 trackers y 1.15 para el último tracker. Considerándose que se puede realizar la instalación.

También se debe comparar que la potencia en DC sea menor que la potencia máxima del Inversor. A continuación, se realizará la comparación para los trackers que usarán 19 módulos solares.

$$24.7 \text{ kW} < 29.76 \text{ kW}$$

Se determinó que el ratio es de 1.12, continuamente se realizará la misma comparación para el tracker que tiene 20 módulos solares, el cual tiene un ratio de 1.15.

$$25.35 \text{ kW} < 29.76 \text{ kW}$$

En efecto si se cumple, por lo cual la recomendación sería la siguiente:

1 Inversor de 22 kW SUN2000-20KTL-M0, HUAWEI

Tracker 1 – 1 x 19 x 0.66 kWp – Agua Principal.

Tracker 2 – 1 x 19 x 0.66 kWp – Agua Principal.

1 Inversor de 22 kW SUN2000-20KTL-M0, HUAWEI

Tracker 1 – 1 x 19 x 0.66 kWp – Agua Principal.

Tracker 2 – 1 x 19 x 0.66 kWp – Agua Principal.

1 Inversor de 22 kW SUN2000-20KTL-M0, HUAWEI

Tracker 1 – 1 x 19 x 0.66 kWp – Agua Principal.

Tracker 2 – 1 x 20 x 0.66 kWp – Agua Principal.

De esta manera se culmina la distribución de los módulos fotovoltaicos en el inversor.

6.4.3 CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE BATERÍAS

Este proyecto se realizará en modo aislado, por el cual necesitará una batería; tomando en cuenta que, para saber la capacidad de la batería, se debe de saber cuánta energía se producirá diaria y los días de autonomía que se desean.

6.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE LA FINCA

Uno de los objetivos del proyecto es brindar iluminación a la finca en horas de la noche. Para lograr este objetivo se debe dimensionar un sistema que pueda cubrir una demanda lumínica para la bodega, la oficina y más importante aún los accesos a la finca.

Tabla 10 Inventario de Cargas.

Sector	Carga	Cantidad	Potencia Watt	Potencia kW	Tiempo de uso en horas	Factor de Carga	Días al mes	Consumo de Energía en kWh/día	Consumo de Energía en kWh/mes
Iluminación	Lámpara 90w (accesos)	50	90	4.5	12	0.77	30	41.58	1247.4
	Lámpara 18w (bodega)	40	18	0.72	12	0.77	30	6.6528	199.584
	Lámpara 18w (oficina)	6	18	0.108	12	0.77	30	0.99792	29.9376
	Lámpara 18w (exterior)	20	40	0.8	12	0.77	30	7.392	221.76
Oficina	Laptop	2	90	0.18	6	0.46	30	0.4968	14.904
	Televisor LG 32"	1	120	0.12	6	0.31	30	0.2232	6.696
	Tomacorrientes	2	12	0.024	12	0.46	30	0.13248	3.9744
Total equipos				6.452	Total kWh		57.4752	1724.256	

Tabla 11 Perfil de Carga.

Sector	Item	DESCRIPCION DE EQUIPO (Carga)	AREA	Cantidad	Potencia Watt	Potencia kW	Tiempo de uso en horas al Día	HORARIO DE USO
Iluminación	1	Lámpara 90w (accesos)	Accesos	50	90	4.500	12	6:00 PM - 6:00 AM
	2	Lámpara 18w (bodega)	Bodegas	40	18	0.720	12	6:00 PM - 6:00 AM
	3	Lámpara 18w (oficina)	Oficina	6	18	0.108	12	6:00 PM - 6:00 AM
	4	Lámpara 18w (exterior)	Exterior	20	40	0.800	12	6:00 PM - 6:00 AM
Oficina	1	Laptop	Oficina	2	90	0.180	6	6:00 PM - 12:00 AM
	2	Televisor LG 32"	Oficina	1	120	0.120	6	6:00 PM - 12:00 AM
	3	Tomacorrientes	Oficina	2	12	0.024	24	6:00 PM - 6:00 AM

Potencia Máxima Demandada

6.452

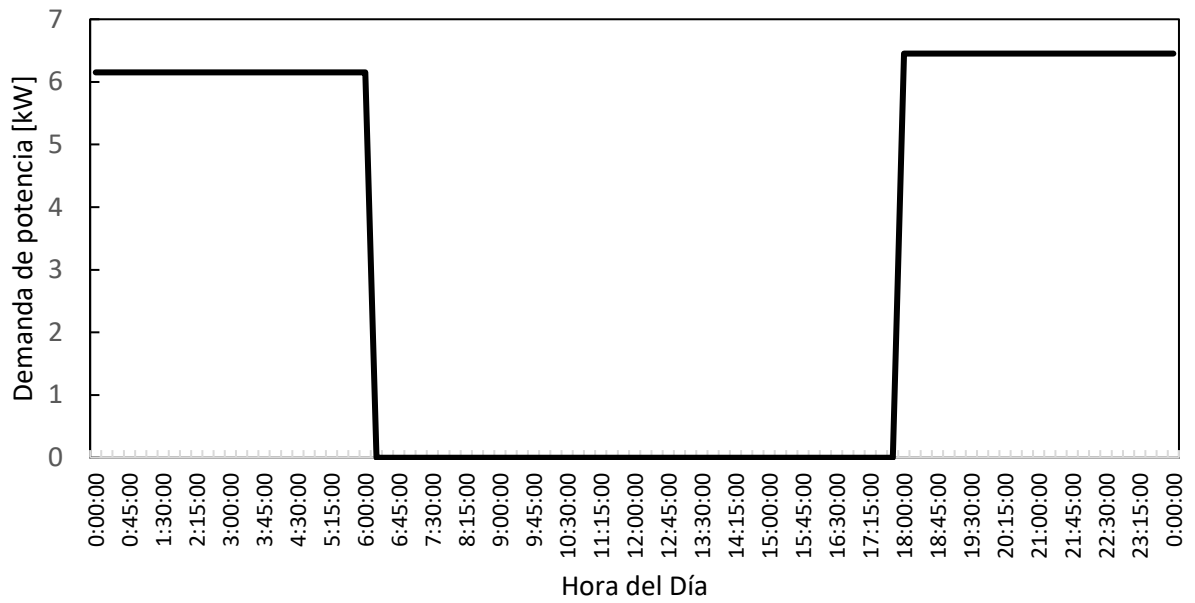


Ilustración 26 Perfil de Carga del Sistema de Iluminación.

6.6 ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero es para poder analizar si el proyecto tiene viabilidad. Los parámetros importantes son VAN, TIR y ROI. Para la obtención de estos datos se debe de calcular la inversión inicial. El presupuesto se realizó de acuerdo a los datos obtenidos en la **Tabla 12**.

Tabla 12 Presupuesto de la Inversión Inicial del Proyecto.

Módulos Solares	L 2,757,240.00
Inversores	L 180,000.00
Accesorios	L 20,000.00
Sistema fotovoltaico	L 2,957,240.00
Turbina Kaplan	L 430,000.00
Construcción de Caja de Máquinas	L 100,000.00
Construcción de Galera para Bomba Centrífuga	L 150,000.00
Precio de Bomba Centrífuga	L 200,000.00
Sistema hidráulico	L 880,000.00
Tubo Galvanizado	L 2,318.44
Tubo PVC y Válvulas de Riego	L 204,000.00
Codo	L 816.00
Válvula	L 3,300.00
Sistema de Tuberías para el Transporte de Agua	L 210,434.44
Construcción de Estanque	L 400,000.00
Mano de Obra de 7%	L 311,337.21
Sistema de Iluminación	L 146,800.00
Imprevistos	L 245,290.58
Costo Capital	L 5,151,102.23

Fuente: Elaboración Propia

El costo beneficio de la empresa se obtendrá de la **Ecuación 26:**

$$\text{Ratio Costo – Beneficio} = \frac{\text{Ganancia Total}}{\text{Inversión Inicial}}$$

Donde:

- Ratio Costo-Beneficio = Debe ser mayor a uno para considerarse rentable
- Ganancia Total = 12,756,925 [Lps]
- Inversión Inicial = 5,151,102.23 [Lps]

$$\text{Ratio Costo – Beneficio} = 2.56$$

La finca se encargará de producir y vender únicamente el cultivo de aguacates, lo cual se estima que los ingresos no serán el ahorro de la producción de energía. Siendo

por los ingresos la venta de cultivo de aguacate, tomando en consideración que el árbol de aguacate tiene una durabilidad de aproximadamente 15 años.

Tabla 13 Ingresos y Egresos del Proyecto.

Año	Total Egresos por Cultivos	Costos de Mantenimiento del sistema Hidráulico/Fotovoltaico	Ingresos por Venta de Cultivo de Aguacate
1	L 859,361.37	L 47,586.00	L 730,500.00
2	L 159,480.03	L 47,587.00	L 1,168,800.00
3	L 179,941.09	L 47,588.00	L 1,928,520.00
4	L 287,189.01	L 47,589.00	L 2,191,500.00
5	L 282,165.61	L 47,590.00	L 2,191,501.00
6	L 310,248.95	L 47,591.00	L 2,191,502.00
7	L 310,248.95	L 47,592.00	L 2,191,503.00
8	L 310,248.95	L 47,593.00	L 2,191,504.00
9	L 310,248.95	L 47,594.00	L 2,191,505.00
10	L 310,248.95	L 47,595.00	L 2,191,506.00
11	L 310,248.95	L 47,596.00	L 2,191,507.00
12	L 310,248.95	L 47,597.00	L 2,191,508.00
13	L 310,248.95	L 47,598.00	L 2,191,509.00
14	L 310,248.95	L 47,599.00	L 2,191,510.00
15	L 310,248.95	L 47,600.00	L 2,191,511.00

Fuente: Grupo Agro,

En el análisis financiero se utilizarán las siguientes ecuaciones:

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

Donde:

- VAN = Valor Presente Neto [Lps]
- N= 15 años [-]
- n= 1 año [-]
- I_n= varían de acuerdo al año [Lps]
- E_n= varían de acuerdo al año [Lps]
- i= intereses no aplican [%]

$$ROI = \frac{(Beneficio\ Obtenido - Inversión)}{Inversión}$$

Donde:

- ROI= Retorno Sobre la Inversión [%]

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

Donde:

- TIR= Tasa Interna de Retorno [%]
- N= 15 años [-]
- n= 1 año [-]
- Q_n = varía de acuerdo al año [Lps]
- $i = 5,151,103$ [Lps]

El tiempo de retorno se hizo de acuerdo a la inversión del proyecto y la durabilidad del árbol de aguacate, tomando en cuenta que los módulos solares y la turbina tienen una vida útil aproximadamente de 10 años más que el cultivo, donde se puede realizar una segunda plantación utilizando los mismos equipos técnicos para el abastecimiento de agua y electricidad.

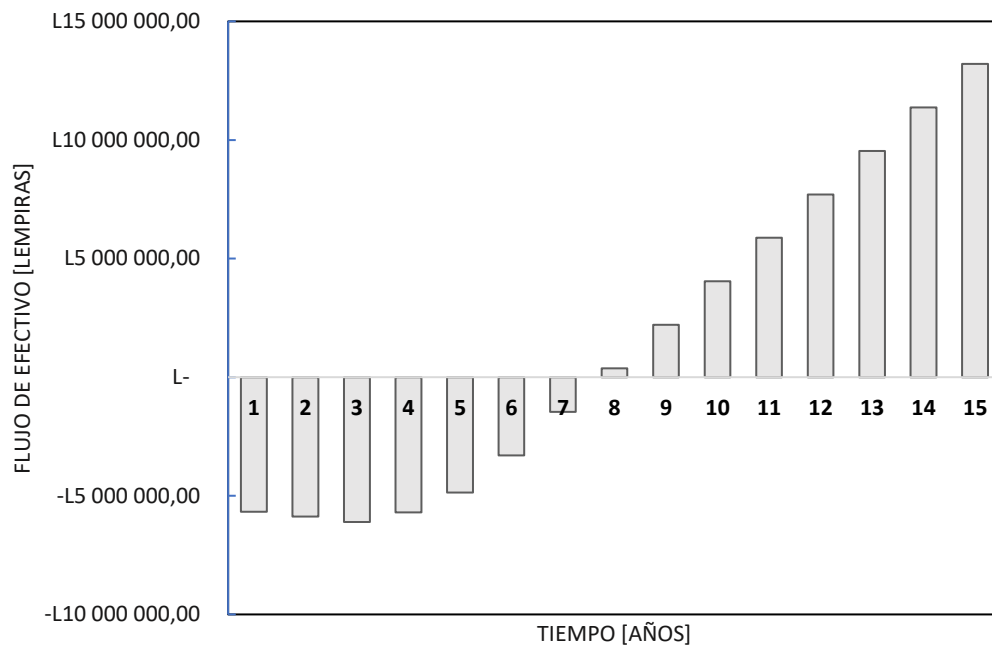


Ilustración 27 Retorno de la Inversión.

Tabla 14 Parámetros Financieros.

VAN	L 15,001,486
TIR	3.73%
ROI	148%

VII. CONCLUSIONES

Se evaluó técnica y económicamente un sistema hídrico y eléctrico diseñado con energía fotovoltaica y con tecnología de almacenamiento por bombeo. Se escogió como caso de estudio una finca de Grupo Agro que cultiva aguacates ubicada en Aldea La Germania 1, en el municipio de Siguatepeque. El arreglo solar se utilizará para abastecer una bomba centrífuga que transportará el agua a un estanque de almacenamiento para el riego de los cultivos de aguacate; y a la misma vez generar energía eléctrica para iluminación por medio de una turbina Kaplan. El análisis técnico-financiero indico las siguientes conclusiones:

- ✓ La demanda hídrica del cultivo del árbol de aguacates se realizó en base a 1,260 árboles en siete manzanas con un riego diario de 45 minutos en toda la plantación. La demanda hídrica diaria para el cultivo de aguacates es de 7.56 m^3 .
- ✓ El cálculo de la demanda eléctrica para la iluminación fue realizado de acuerdo a un inventario de cargas con una potencia máxima demandada de 6.452 [kW]. Siendo así una generación de energía eléctrica de 77.42 [kWh] de 6:00 PM – 6:00 AM.
- ✓ La turbina necesaria para el proyecto se definió en base a la potencia máxima demandada por el sistema de iluminación y en base a las diferencias de alturas disponibles del terreno. La turbina más apropiada es una Kaplan de 10 [kW], generando una potencia de 7.72 [kW] con una eficiencia aproximada del 93%.
- ✓ La demanda hídrica de la turbina se calculó utilizando su caudal de diseño de $(0.1 \text{ m}^3/\text{s})$ que estará funcionando 12 horas por la noche, siendo $4,320 \text{ m}^3$ la demanda hídrica de la turbina.
- ✓ El estanque se dimensionó para brindar tres días de autonomía. El volumen de almacenamiento se calculó sumando la demanda hídrica del cultivo de aguacates y la demanda hídrica de la turbina, multiplicando este dato por tres. Las dimensiones del estanque son de 40 metros de ancho, 55 metros de largo y seis metros de profundidad; teniendo un volumen de $13,200 \text{ m}^3$.
- ✓ La demanda eléctrica de la bomba se estableció seleccionando una que permita suministrar diariamente $1/3$ de la capacidad de almacenamiento del estanque. La

bomba seleccionada es de 60 [kW] fabricada por Bombas Ideal con un modelo CPH 200-320. Esta bomba suministra 4,334 m³ diarios al estanque.

- ✓ El sistema fotovoltaico se diseñó con una capacidad en DC de 75.9 [kW] y en AC de 66 [kW], utilizando 115 módulos solares con una potencia de 660 [W], esta suplirá a la bomba de 60 [kW] trabajando un promedio siete horas al día.
- ✓ Se diseñó un sistema hidráulico con una tubería de 149 metros longitudinales para la bomba y 170 metros longitudinales para la tubería de la turbina.
- ✓ Se diseñó un sistema hidráulico para el sistema de riego con una tubería de 2 pulgadas con 1,068 metros longitudinales y colocando cada tres metros válvulas para controlar el riego manualmente.
- ✓ La ganancia monetaria en el año 15 es de Lps. 12,756,925 con una inversión inicial de aproximadamente Lps. 5,151,102.23; resultando con un ratio de costo beneficio de 2.56. Se recomienda que este ratio sea mayor a uno para obtener ganancias.
- ✓ El cálculo de los parámetros VAN, ROI y TIR son importantes para conocer si el proyecto resultará factible o no. Teniendo un VAN de Lps. 15,001,486, una TIR de 3.73% y un ROI de 148%.

Una de las limitaciones de este proyecto fue la falta de datos históricos del caudal de los ríos aledaños a la finca. Se realizó una serie de entrevistas a la comunidad para tener referencias sobre la constancia de los niveles del río. Otra limitación, fue que el presupuesto obtenido para las turbinas y bombas seleccionadas es aproximado ya que no se encuentra dicho equipo en el mercado hondureño.

En vista de que no se contó con un piranómetro para medir la irradiancia del sector seleccionado, se utilizó Helioscope para hacer una simulación de la energía eléctrica generada por el arreglo solar.

VIII. APLICABILIDAD

Este proyecto representa un valor agregado al presentar una alternativa factible en la aplicación de la empresa privada, como ser fincas y haciendas que se enfrentan a la problemática de abastecerse de agua y electricidad. De la misma manera, este estudio representa una solución para entidades gubernamentales que pretenden proveer de servicios básicos a comunidades rurales, principalmente en terrenos montañosos.

IX. RECOMENDACIONES

Es importante identificar algunas recomendaciones que se pueden aplicar a este proyecto por sus condiciones topográficas e hidrográficas. En caso de que se desee implementar mejoras al sistema hidráulico se puede considerar lo siguiente:

- Es posible instalar una turbina Turgo y aprovechar la altura manométrica de 100 metros columna de agua para generar una potencia de 100 kW.
- Debido a inconvenientes meteorológicos es posible que el sistema fotovoltaico no pueda operar, por esto mismo se puede limitar el uso del sistema de iluminación y darle prioridad al sistema de riego de los cultivos de aguacate.
- Se recomienda realizar mantenimiento a los módulos solares trimestralmente debido a su exposición a polvo y suciedad.
- Se recomienda realizar actividades de mantenimiento electromecánico en la turbina Kaplan bimestralmente. A la vez se aprovecha realizar el mantenimiento mecánico en la bomba centrífuga.
- Para mantener una eficiencia del sistema hidráulico apropiada es necesario hacer revisión de las tuberías para identificar posibles fugas.
- Es conveniente realizar la instalación del arreglo fotovoltaico y de la bomba al menos cinco metros arriba del nivel del río, esto debido a una posible inundación.

X. CONOCIMIENTOS APLICADOS

El presente proyecto relaciona la implementación de energías renovables, para ser específicos energía fotovoltaica y energía hidráulica. A lo largo de la carrera de Ingeniería en Energía, se cursan materias como Mecánica de Fluidos, Energía Termosolar y Fotovoltaica, Energía Hidráulica y desde luego una serie de materias físico-matemáticas.

Se emplearon conocimientos de energía fotovoltaica a la hora de dimensionar un arreglo solar que pudiera abastecer una bomba centrífuga que pudiera transportar agua a un punto de almacenamiento.

Se aplicaron conocimientos de mecánica de fluidos para analizar el comportamiento del agua y las pérdidas de energía a lo largo de la tubería.

Se aplicaron conocimientos de energía hidráulica a la hora de dimensionar una turbina necesaria para abastecer un sistema de iluminación.

Se utilizaron conocimientos obtenidos en clases de matemáticas y física para realizar los cálculos para validación de la metodología aplicada en cada proceso del proyecto.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Bustamante, C., & Chávez, M. (2018). *Implementación del sistema de abastecimiento de agua mediante bombas solares*. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/46828/3560901543793UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Costa Rica Solar Solutions Energia Limpia. (s.f.). Obtenido de <https://crsolarsolutions.com/our-solutions/?lang=es>
- De Maquinas y Herramientas. (15 de noviembre de 2013). Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/transformadores-electricos>
- Derlagen, C., Paolo De Salvo, C., Egas, J. J., & Pierre, G. (2019). *Análisis de Políticas Agropecuarias en Honduras*.
- Díaz, R., Bravo, L., Alotorre, L., & Sánchez, E. (Diciembre de 2013). *PRESION ANTROPOGÉNICA SOBRE EL AGUA SUBTERRÁNEA EN MEXICO: UNA APROXIMACION GEOGRAFICA*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0188461113727882#bib0130>
- ENEE, E. d. (Enero de 2020). *Boletín Estadístico Enero 2020*. Obtenido de <http://www.enee.hn/planificacion/2020/Junio/1%20Boletin%20Estadistico%20ENERO%202020.pdf>
- EnergiaFV. (8 de Octubre de 2018). *EnergiaFV*. Obtenido de <https://www.energiafv.com/como-funciona-la-energia-solar-fotovoltaica/>
- Escobar, E. (26 de Agosto de 2020). *METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DEL EJE PRINCIPAL DE UNA*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/23118/1/T-ESPEL-EMI-0395.pdf>
- Escobar., M. P. (2007). Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/47245204.pdf>
- Escuín, J. L. (27 de Octubre de 2011). *Canales Sectoriales*. Obtenido de Micro-Centrales Vernis: <https://www.interempresas.net/Energia/Articulos/57268-Micro-Central-Vernis-energia-hidraulica-producida-en-casa.html>

- FAO. (1969). *Los Suelos de Honduras*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/ar884s/ar884s.pdf>
- Fernandez, H. (2015). *Análisis de Acoplamiento de una Bomba Centrífuga y Bomba de Diafragma a un Sistema de Fotovoltaicos*. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4509/MCMhufew.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- FESMEX. (22 de Enero de 2020). *FESMEX*. Obtenido de <http://www.fesmex.com.mx/article/perdidas-por-friccion-en-tuberias>
- Flores, W. (Septiembre de 2014). *Mejorando el Acceso de Mercados Energéticos Honduras*. Obtenido de <http://www.olade.org/wp-content/uploads/2021/03/INFORME-FINAL-TALLER-WF-HONDURAS.pdf>
- Flórez, O. (2011). *Hidráulica: generación*. Ediciones de UNITEC.
- Fuentes, C. (2010). *La Tribuna*. Obtenido de <https://www.ewind.com/2010/12/20/honduras-estan-entre-los-paises-con-mejor-potencial-en-energia-solar/>
- Garcia, R. (2014). *Turbina*. Obtenido de <https://prezi.com/0eatwqfyenzj/turbina-kaplan/>
- Guerra, D., Grajales, L., & Roa, A. (s.f.). *Requerimientos hídricos del cultivo de aguacate*. Obtenido de <http://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/14/12/115-1?inline=1>
- Guzmán, M. P. (s.f.). Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/40098/u807798.pdf?sequence=1>
- IEEE. (3 de noviembre de 2011). *Compromiso robusto de la unidad con la energía eólica y el almacenamiento por bombeo hydro*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6069602>
- Mete, M. (2014). Valor Actual Neto y Tasa de Retorno: Su Utilidad como Herramientas para el Análisis y Evaluación de Proyectos de Inversión. *Fides et Ratio - Revista Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*.

- Morazán, J. A. (s.f.). *Proyectos Pico Hidroeléctricos para Electrificación de Fincas Cafetaleras en Zonas Aisladas*. Obtenido de https://energypedia.info/images/6/60/Proyectos_Picohidroel%C3%A9tricos_Honduras_y_Nicaragua.pdf
- Mosconi, F. (2003). <https://rdu.unc.edu.ar>. Obtenido de <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/11366/Informe%20Completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Núñez, I. (Septiembre de 2014). *Almacenamiento de Energía por Bombeo en el Marco Regulatorio Chileno*. Obtenido de <https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/paperspdf/IgnacioNunez.pdf>
- Orozco, J. (Junio de 2013). *Generación de Energía Eléctrica con Bomba Centrífuga*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/40313/u672433.pdf?sequence=1>
- Peña, D. A., & Gomez Segura, A. (s.f.). *Aplicaciones Fotovoltaicas en edificios. Lección Inaugural*. Obtenido de http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/08_lecciones/02_leccion/www/Sist_fotovol_conectados_red.htm
- PNUD. (s.f.). *Medidas de adaptación al cambio climático, para reducir el estrés por escasez de agua*. Obtenido de 2017
- Quezada, C., & Criollo, X. (2011). *DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CUENCA*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1096/13/UPS-CT002113.pdf>
- Rangoni, B. (diciembre de 2012). *Una contribución al almacenamiento de electricidad: el caso de la evaluación y puesta en marcha de almacenamiento por bombeo hidráulico en Italia y España*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095717871200046X>
- Rasero, C. M. (2011). *Energía Solar Fotovoltaica*. Obtenido de <https://static.eoi.es/savia/documents/componente75553.pdf>

- Renewables FIRST. (s.f.). Obtenido de <https://www.renewablesfirst.co.uk/hydropower/hydropower-learning-centre/how-do-you-connect-hydro-to-the-grid/>
- Rodriguez, F. E. (2019). *Diseño y puesta en marcha de un regulador de velocidad para la turbina de la planta hidroeléctrica Aguas Zarca Sitio 1*. Obtenido de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10623/Dise%C3%B1o%20y%20puesta%20en%20marcha%20de%20un%20regulador%20de%20velocidad%20para%20la%20turbina%20de%20la%20Planta%20Hidroel%C3%A9ctrica%20Aguas%20Zarcas%20Sitio%201.pdf?sequence=1&isAllowed>
- Rosa, J. M. (2014). <https://temariosformativosprofesionales.files>. Obtenido de <https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2014/03/turbinas-kaplan.pdf>
- Ruiz, S., Márquez, A., & Espinosa, J. (8 de noviembre de 2017). *Diseño óptimo de un sistema diésel-fotovoltaico-eólico con baterías y almacenamiento por bombeo hidráulico en una comunidad colombiana*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8191272>
- Silvestre, I. N. (s.f.). *ATLAS MUNICIPAL*. Obtenido de <https://inparsa.net/atlas/?q=node/44>
- The World Bank. (2017). *Solargis*. Obtenido de <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/honduras>

XII. ANEXOS

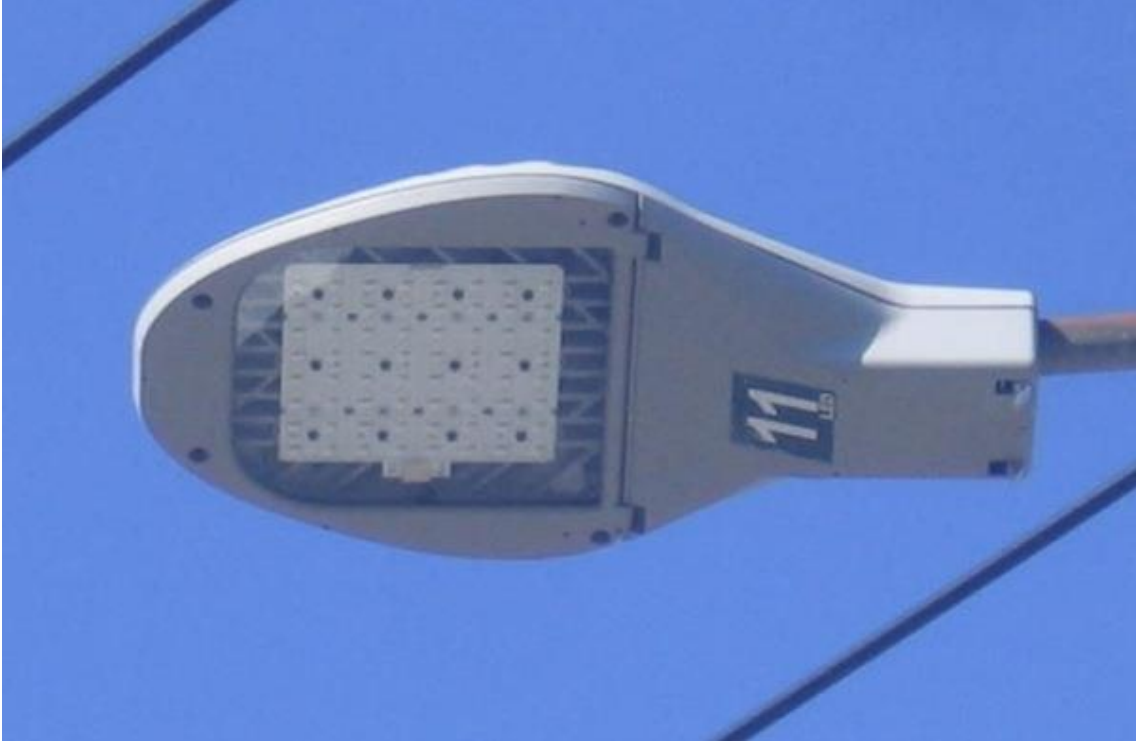


Ilustración 28 Lámpara LEDs de 90 Watts

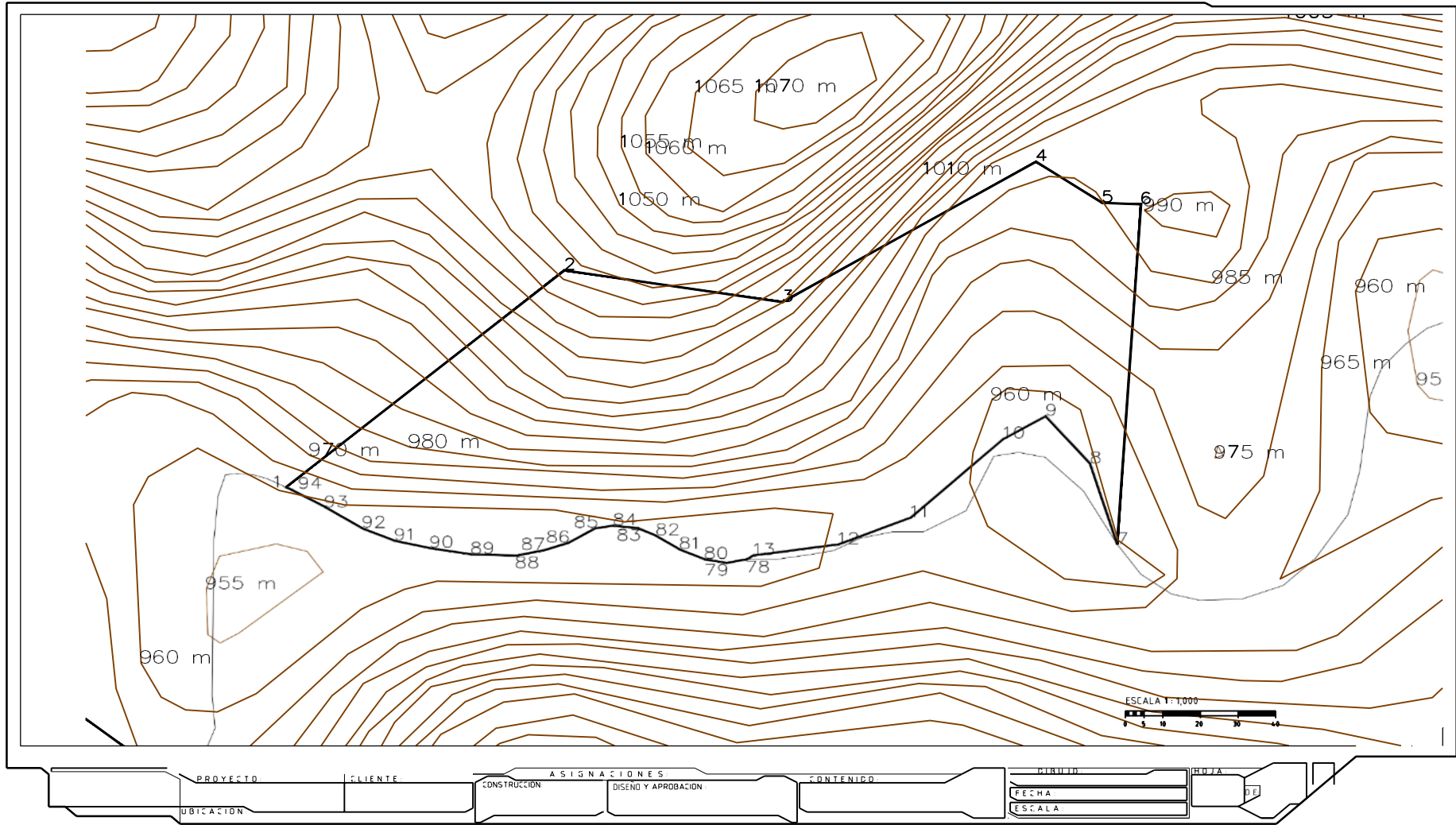


Ilustración 29 Plano Topográfico del Terreno a Utilizar.



Ilustración 30 Sistema de Riego Por Canales

Tabla 15 Coeficiente de Accesorios.

Plaza, conexión o dispositivo	K_i
Rejilla de entrada	0.80
Válvula de pie	3.00
Entrada cuadrada	0.50
Entrada abocinada	0.10
Entrada de borda o reentrada	1.00
Ampliación gradual	0.30
Ampliación brusca	0.20
Reducción gradual	0.25
Reducción brusca	0.35
Codo corto de 90°	0.90
Codo corto de 45°	0.40
Codo largo de 90°	0.40
Codo corto de 45°	0.20
Codo largo de 22° 30'	0.10
T con flujo en línea recta	0.10
T con flujo en ángulo	1.50
T con salida bilateral	1.80
Válvula de compuerta abierta	5.00
Válvula de ángulo abierta	5.00
Válvula de globo abierta	10.00
Válvula alfarera	2.00
Válvula de retención	2.50
Boquillas	2.75
Controlador de gasto	2.50
Medidor Venturi	2.50
Confluencia	0.40
Bifurcación	0.10
Pequeña derivación	0.03
Válvula de mariposa abierta	0.24

Fuente: Conagua, 2002

Tabla 16 Coeficiente de Accesorios.

Tamaño de los accesorios, pulgadas	1/2"	1/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"
Codo en L de 90	1.5	2	2.7	3.5	4.3	5.5	6.5	8	10	14	15	20	25
Codo en L de 45	0.8	1	1.3	1.7	2	2.5	3	3.8	5	6.3	7.1	9.4	12
Codo en L abierto	1	1.4	1.7	2.3	2.7	3.5	4.2	5.2	7	9	11	14	
Curva en U estrecha	3.6	5	6	8.3	10	13	15	18	24	31	37	39	
Perfil T de paso recto	1	2	2	3	3	4	5						
Perfil T - entrada o salida lateral o adaptador sin depresión	3.3	4.5	5.7	7.6	9	12	14	17	22	27	31	40	
Válvula de bola o de globo abierta	17	22	27	36	43	55	67	82	110	140	160	220	
Válvula angular abierta	8.4	12	15	18	22	28	33	42	58	70	83	110	
Válvula de compuerta - completamente abierta	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.7	2.3	2.9	3.5	4.5	
Válvula de retención (a bisagra)	4	5	7	9	11	13	16	20	26	33	39	52	65
Válvula de retención en línea (a resorte) o válvula de aspiración	4	6	8	10	14	19	23	32	43	58			

Fuente: (FESMEX, 2020)