



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE POSTGRADO

**PREFACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA HÍBRIDO
FOTOVOLTAICO Y ENERGÍA TÉRMICA POR MEDIO DEL USO DE LOS INVERSORES RSI
GRUNDFOS (RENEWABLE SOLAR INVERTER) Y EL POWERADAPT.**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN ENERGÍA

SUSTENTADO POR:

ZAHIR ALESSANDRO DÍAZ MC LAUGHLIN

21841293

ASESOR TEMÁTICO: ING. NELSON RODRÍGUEZ

ASESOR METODOLÓGICO: MSc. ALICIA MARÍA REYES DUKE

CAMPUS SAN PEDRO SULA, CORTÉS, OCTUBRE, 2022

Dedicatoria

Quisiera dedicarle principalmente este trabajo a Dios, ya que Él ha sido mi guía en todos mis pasos.

A mis padres Hugo Geovanni Díaz Rodríguez y Melanie Regina Mc Laughlin, a su vez a mi novia Daniel Montserrat Chávez Sánchez por haberme apoyado a cumplir mis metas y sueños, por siempre estar en los momentos difíciles, confiar en mí para llegar hasta aquí y nunca dejar me rindiera.

A mis compañeros y amigos, los cuales formaron parte importante de mi vida universitaria y siempre me apoyaron.

Zahir Díaz

Agradecimientos

Agradecerle en primer lugar a Dios, ya que me ha dado la bendición de poder llegar hasta aquí. Gracias a Él, logré culminar mi proceso universitario, el cual ha marcado una gran etapa en mi vida y sé que Él me acompañará a lo largo de mi vida.

Agradecerle a mi familia y pareja, por apoyarme en todo momento.

A mis profesores, que me otorgaron el conocimiento a su disposición para mi formación profesional.

A la Msc. Alicia María Reyes Duke, por toda la ayuda que me facilitó para poder realizar esta investigación.

A mis amigos y compañeros Gabriel Moncada, Wilson Díaz, Eward Valle y Jonathan Romero que me apoyaron incondicionalmente en los puntos clave de toda mi vida universitaria.

A mis mejores amigos Rafael Antonio Rubí, Luis Eduardo Martínez, José Daniel Ramírez y Diego Andrés Maldonado.

Gracias a todos.

Resumen

La comunidad de "Nueva Guadalupe", ubicada en La Lima, Cortés, Honduras es una comunidad de aproximadamente 200 familias. "Nueva Guadalupe" estaba siendo afectada por el alto consumo de energía eléctrica debido a la deficiencia de los equipos utilizados para la entrega de agua potable. Esto se debe a la vida útil del sistema en uso, y es totalmente dependiente del sistema de suministro eléctrico del país. A lo largo de los años, la tecnología de producción de energía eléctrica mediante recursos renovables se ha convertido en una gran alternativa para los problemas mencionados, pero en muchas ocasiones se rechaza debido a la intermitencia de estos sistemas renovables. Para combatir este problema, en la siguiente investigación se propone la viabilidad tecno-económica de la creación de un sistema híbrido que utilice la energía fotovoltaica y la energía térmica (generadores diésel) como recurso energético, utilizando la tecnología RSI y Grundfos PowerAdapt. Para ello, se presentó el proceso adecuado para el tipo de sistema de bombeo para satisfacer la demanda de agua potable de la comunidad. Esto es debido a que el tipo es de suma importancia, ya que determinará la demanda de energía que nuestro sistema de producción de energía tendrá que satisfacer. Se propuso el tipo de proceso del sistema híbrido que satisface la correspondiente demanda energética del sistema de bombeo. Esta investigación hizo el análisis tanto técnico como económico siendo parte fundamental para la validación de hipótesis central de nuestra ésta, en los análisis antes mencionados la investigación obtuvo resultados positivos en cuanto a la factibilidad de aplicación de un sistema de híbrido de producción de energía para la alimentación de sistema de bombeo. En el análisis técnico y económico la investigación obtuvo que el sistema planteado presenta una TIR del 20% lo cual es un indicativo de su rentabilidad económica, a su vez el sistema híbrido refleja que el año 20 tiene un auto consumo del 78.97% superando la del sistema fotovoltaico individual el cual tiene un auto consumo de un 64%.

Palabras claves: intermitencia, energía fotovoltaica, energía térmica sistema de bombeo, sistema híbrido, RSI, PowerAdapt y aplicaciones

Resumen (inglés)

The community of "Nueva Guadalupe", located in La Lima, Cortés, Honduras is a community of approximately 200 families. "Nueva Guadalupe" was being affected by the high consumption of electrical energy due to the deficiency of the equipment used for the delivery of usable water. This is due to the useful life of the system in use and is totally dependent on the country's electricity supply system. Over the years, the technology of producing electricity using renewable resources has become a great alternative to the above-mentioned problems but is often rejected due to the intermittency of these renewable systems. To combat this problem, the following research proposes the techno-economic feasibility of creating a hybrid system that uses photovoltaic energy and thermal energy (diesel generators) as an energy resource, using RSI and Grundfos PowerAdapt technology. To this end, the appropriate process for the type of pumping system to meet the community's demand for potable water was presented. This is because the type is of utmost importance as it will determine the energy demand that our power production system will have to meet. The process type of the hybrid system that satisfies the corresponding energy demand of the pumping system proposed. This research made both the technical and economic analysis being a fundamental part for the validation of the central hypothesis of our research, in the aforementioned analysis the research obtained positive results regarding the feasibility of applying a hybrid energy production system for the power supply of the pumping system. In the technical and economic analysis, the research obtained that the proposed system presents an IRR of 20% which is an indication of its economic profitability, in turn the hybrid system reflects that the year 20 has a self-consumption of 78.97% surpassing that of the individual photovoltaic system which has a self-consumption of 64%.

Key words: intermittency, photovoltaic, thermal power pumping system, hybrid system, RSI, PowerAdapt and applications

Índices del Contenido

I.	Introducción.....	17
II.	Planteamiento del Problema.....	19
2.1	Precedentes del Problema.....	19
2.1.1	Precedentes referentes al suministro de agua.....	19
2.1.2	Precedentes referentes a los sistemas híbridos	19
2.2	Definición del Problema.....	20
2.3	Justificación.....	21
2.4	Preguntas de Investigación.....	21
2.5	OBJETIVOS.....	22
2.5.1	Objetivo General	22
2.5.2	Objetivos Específicos	22
III.	Marco Teórico.....	23
3.1	Departamento de La Lima	23
3.2	Análisis de la situación actual.....	24
3.2.1	Análisis del Macroentorno.....	24
3.2.2	Análisis del Microentorno.....	27
3.3	Teoría de sustento.....	30
3.3.1	Suministro de agua	30
3.3.2	Sistemas para la extracción de agua (no mecánicos).....	31
3.3.3	Sistemas abastecimiento de agua (MECÁNICOS)	32
3.3.4	Pérdidas por fricción.....	34
3.3.5	Consumo de agua.....	34

3.3.6	Tanque de agua.....	36
3.3.7	Sensor de nivel.....	36
3.3.8	Bombas sumergibles	37
3.4	Sistemas de energía híbridos	39
3.4.1	¿Qué son los sistemas híbridos?	39
3.4.2	Generador Eléctrico.....	39
3.4.3	Energía solar	40
3.5	RSI.....	43
3.6	Poweradapt.....	44
IV.	Metodología.....	45
4.1	Enfoque.....	45
4.2	Variables de Investigación.....	45
4.2.1	Variables independientes.....	46
4.2.2	Variables Dependientes.....	47
4.2	Hipótesis.....	50
4.3	Técnicas e instrumentos aplicados.....	50
4.3.1	Google Earth.....	51
4.3.2	NASA Power.....	51
4.3.3	Homer Pro	51
4.3.4	Microsoft Excel.....	51
4.3.5	Grundfos Product Center.....	51
4.4	Población y Muestra	51
4.4.1	Población	52

4.4.2	Muestra.....	52
4.5	Metodología de Estudio.....	52
4.6	Metodología de Validación.....	53
4.6.1	Análisis técnico	54
4.6.2	Análisis Económico.....	61
4.7	Cronograma de Actividades	66
V.	Resultados Y Análisis.....	67
5.1	Evaluación de la dotación de agua por familia.....	67
5.2	dimensionamiento del sistema de bombeo	71
5.3	datos de radiación en zona.....	74
5.4	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	75
5.5	Proyección de la producción de agua potable.....	78
5.6	Selección del tamaño sistema de generadores diésel.....	80
5.7	Simulación del sistema híbrido para la producción de energía.....	81
5.8	Análisis Técnico.....	82
5.9	Análisis del presupuesto o Costo de Capital.....	82
5.10	Producción de energía anual y Autoconsumo	83
5.11	Periodo de recuperación, VAN, LCOE, ROI y TIR.....	84
5.12	Análisis Económico	85
VI.	Conclusiones	86
VII.	Recomendaciones	88
VIII.	Aplicabilidad.....	89
IX.	Bibliografía	90

X. Anexos	94
-----------------	----

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1- Sistema de suministro de agua energizado por un sistema híbrido.	21
Ilustración 2-Mapa del Departamento de La Lima.....	23
Ilustración 3- Crecimiento de la Energías Renovables.....	24
Ilustración 4- Potencial de energía fotovoltaica. Fuente: (Solargis, 2022).....	25
Ilustración 5- Producción Global Anual. Fuente: (ISE, 2022).....	26
Ilustración 6- El porcentaje del total acumulado de instalaciones fotovoltaicas.....	26
Ilustración 7- Potencial Fotovoltaico en Honduras.....	27
Ilustración 8- Comparación de Tarifa Residencial por País.....	28
Ilustración 9- Comparación de Tarifa Residencial por Consumo.....	28
Ilustración 10- Comparación de Tarifa Comercial por País.....	29
Ilustración 11- Comparación de Tarifa Comercial por Consumo.	29
Ilustración 12- Comparación de Tarifa Industrial por País.....	29
Ilustración 13- Comparación de Tarifa Industrial por Consumo.....	30
Ilustración 14- Comparación de Tarifa Industrial por Consumo.....	30
Ilustración 15- Esquema del Sistema de bombeo centrifugado.....	32
Ilustración 16-Esquema de sistema de bombeo inyector.	33
Ilustración 17- Esquema de sistema de bombeo inmersión.	33
Ilustración 18- Diagrama de diferentes tipos de tanques de tanques.	36
Ilustración 19- Sensor de nivel.....	37
Ilustración 20- Ejemplo de una bomba sumergible marca Grundfos.....	38

Ilustración 21-Eschema de ejemplo de un sistema híbrido.	39
Ilustración 22- Esquema de la Radiación Llegando a la Tierra.....	41
Ilustración 23- Efectos de la sombra en los módulos fotovoltaicos.....	42
Ilustración 24- Diagrama de aplicación del RSI.....	43
Ilustración 25- RSI.....	44
Ilustración 26- Poweradapt.	44
Ilustración 27-Metodología de Investigación.	45
Ilustración 28 Variables de Investigación.....	49
Ilustración 29-Técnicas e instrumentos aplicados.....	50
Ilustración 30-Metodología de Validación Técnica.....	54
Ilustración 31- Comunidad Nueva Guadalupe.....	55
Ilustración 32- Tanque de agua utilizado por la comunidad.	56
Ilustración 33-Proceso de dimensionamiento del equipo de bombeo.....	57
Ilustración 34- Obtención de Datos Meteorológicos en NASA POWER.....	58
Ilustración 35-Proceso de proyección de producción de agua potable.....	60
Ilustración 36-Metodología de Validación Económica.....	61
Ilustración 37-Aplicabilidad de la tecnología.....	89
Ilustración 38-Proceso de Dimensionamiento del Sistema de bombeo;	Error! Marcador

no definido.

Índice de ecuaciones

Ecuación 1- Cálculo de la muestra.	52
Ecuación 2- Cálculo del número de módulos fotovoltaicos.....	58
Ecuación 3- Cálculo del Voltaje mínimo y Máximo del Inversor.....	59
Ecuación 4-Cálculo del número del máximo de cadenas en paralelo.....	59
Ecuación 5- Cálculo del mínimo y máximo de Módulos Fotovoltaicos por cadena.....	59
Ecuación 6- Cálculo del mínimo y máximo de Módulos Fotovoltaicos por cadena.....	59
Ecuación 7- Cálculo del Costo de Capital.....	61
Ecuación 8- Cálculo del Costo de Especifico de Capital.	62
Ecuación 9- Cálculo del Costo de Especifico de Capital.	63
Ecuación 10- Cálculo de la Energía producida por el sistema fotovoltaico.....	63
Ecuación 11-Cálculo de la Energía producida por el generador diésel.....	63
Ecuación 12- Cálculo de la Energía utilizada en autoconsumo.....	64
Ecuación 13- Cálculo del Periodo de Recuperación.	64
Ecuación 14- Cálculo del Valor actual neto y Tasa interna de retorno.....	65
Ecuación 15- Cálculo del retorno de la inversión.	65
Ecuación 16- El costo nivelado de la energía.....	65

Índice de Gráficas

Gráfica 1- Curva de la bomba (del fabricante, velocidad máxima)	74
Gráfica 2- Irradiación promedio diaria	75
Gráfica 3- Potencia de salida de un Modulo	78
Gráfica 4- Curvas de la bomba y el sistema.....	79
Gráfica 5- Producción diaria de agua potable por hora	80
Gráfica 6- Porcentaje de Costos por Área Sistema fotovoltaico	82
Gráfica 7- Porcentaje de Costos por Área Sistema Híbrido	83

Índice de Tablas

Tabla 1- Información General de la Comunidad	67
Tabla 2- Dotación de agua por persona.....	68
Tabla 3- Demanda Máxima	68
Tabla 4- Demanda Anticipada.....	69
Tabla 5- Demanda Futura Máxima	69
Tabla 6- Demanda General.....	70
Tabla 7- Síntesis de los componentes del Diseño	71
Tabla 8- Características del Tanque de Almacenamiento	71
Tabla 9- Datos requeridos para el sistema de bombeo	72
Tabla 10- Pérdidas por tramo de nuestro sistema	72
Tabla 11- Punto de servicio de diseño.....	73
Tabla 12- Descripción general de la bomba.....	73
Tabla 13- Resumen de los resultados de Datos meteorológicos	75
Tabla 14- Parámetros iniciales previo al dimensionamiento.....	76

Tabla 15- Un desglose de las especificaciones del módulo fotovoltaico.....	76
Tabla 16- Un desglose de las especificaciones del Inversor.....	77
Tabla 17- Síntesis del sistema fotovoltaico.....	77
Tabla 18- Características del generador diésel seleccionado	80
Tabla 19- Datos obtenidos de simulación en Homer Pro	81
Tabla 20-Fuente: Elaboración propia.....	83
Tabla 21- Producción y Autoconsumo de la energía eléctrica	84
Tabla 22- Síntesis del análisis financiero Sistema Fotovoltaica	84
Tabla 23- Síntesis del análisis financiero Sistema híbrido	85

I. INTRODUCCIÓN

La inestabilidad del suministro de energía en el país de Honduras en la actualidad (2022) es una realidad, que con el pasar de los años (1994 -2022) ha aumentado. En la Empresa Nacional de Energía Eléctrica, debido al crecimiento de la demanda, las pérdidas técnicas y no técnicas comenzaron a superar el 30%, sobrepasando el límite establecido de 15%. Esto causó que se priorizaran otras áreas en lugar de las de mantenimiento y mejoramiento de líneas de transmisión y gestión de la generación de energía, lo que formó una inestabilidad en el suministro de la energía eléctrica, abriendo así diferentes alternativas para la producción de ésta. (Dirección Ejecutiva de Gestión de Tecnología, 2019).

Los sistemas de energía renovable entran como una gran alternativa para producir energía eléctrica dentro del país de Honduras, siendo éstas en la actualidad su mayor fuente de energía, lo cual a su vez se convierte en un conflicto, debido a que, a pesar de ser un recurso de energía limpio y de recursos prácticamente inagotables, estas fuentes poseen una gran intermitencia, lo que les beneficia ya que les brinda una constante evolución, llegando a tal punto, que para maximizar su eficiencia se utilizan combinaciones de estos, formándose así los sistemas híbridos.

El municipio de La Lima ha sufrido mucho en el pasado con respecto a la escasez de agua y energía debido a los huracanes ETA e IOTA, a los cuales se enfrentó el país de Honduras en el año 2020, lo que ha llevado al municipio a recuperarse lentamente. Correspondiente al fragmento anterior, el proyecto se centra en la creación de un sistema híbrido para la producción de energía, y que de esta manera se alimente un sistema de bombeo, el cual estará diseñado para suministrar electricidad específicamente a la comunidad de Nueva Guadalupe ubicada en el municipio de La Lima.

La presente investigación desglosa los criterios a tomar en cuenta al momento de seleccionar un sistema híbrido como alternativa de producción de energía eléctrica. Detalla todos los pasos a seguir para el dimensionamiento de un sistema de bombeo, asimismo, pormenoriza paso a paso el dimensionamiento de un sistema híbrido que utiliza como fuentes principales para la producción de energía: la tecnología fotovoltaica y los generadores eléctricos. Además, se analizará y explicará paso a paso la prefactibilidad técnica y económica de la implementación de

estos sistemas híbridos en este tipo de aplicaciones. En síntesis, esta investigación consiste en ayudar a implementar alternativas para la producción de energía y facilitar el suministro de agua en la comunidad de Nueva Guadalupe.

El documento cuenta con la siguiente estructura: el Capítulo II abarca el planteamiento del problema, sus precedentes, definición y justificación, al igual que, las preguntas de investigación y los objetivos de ésta. El Capítulo III envuelve el marco teórico, el cual desglosa un análisis de la situación actual de la temática que toca la investigación junto con la teoría de sustento que será de apoyo para ésta. El Capítulo IV determina la metodología de investigación que se utilizará a lo largo del proyecto. En el Capítulo V se reúnen los análisis y resultados del proyecto para validar el tema de investigación. En el Capítulo VI se enumeran las conclusiones que se obtuvieron a lo largo de la investigación. Y, por último, en el Capítulo VII, se catalogan las recomendaciones que se le darán al proyecto.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo, se estará indagando en el problema que se ataca y descompone a lo largo del proyecto. En este apartado se distinguen los diferentes precedentes del problema, los cuales servirán como una descripción a detalle de este y se definirán los motivos por lo que este debe ser abordado y, por consiguiente, controlado.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1 PRECEDENTES REFERENTES AL SUMINISTRO DE AGUA

La ONG "Misiones del Agua", tiene la propuesta del proyecto "Nueva Guadalupe" que busca satisfacer a una comunidad de aproximadamente 200 familias con agua segura. El proyecto se llevará a cabo en la ciudad de La Lima, Cortés, Honduras y Centroamérica. A lo largo del tiempo, esta población se ha visto afectada por la escasez de agua potable, lo que ha traído consecuencias, tales como:

- Distorsión del confort de las familias que viven en esta comunidad, debido a la inaccesibilidad al agua segura y limpia como recurso básico de vida.
- Posible generación de enfermedades en la comunidad, debido tanto a la falta de higiene personal como a la escasez de agua segura para su consumo.
- Inestabilidad de la satisfacción de la demanda de agua potable en dicha comunidad.

Debido a la gran inestabilidad del suministro de energía del país de Honduras el crear un sistema y suministro de agua potable por medio de un bombeo totalmente estable resulta en un proceso altamente embrollador, ya que se tiene el limitante de que su funcionamiento es a base de energía eléctrica.

2.1.2 PRECEDENTES REFERENTES A LOS SISTEMAS HÍBRIDOS

La inestabilidad del suministro de energía en el país de Honduras es una realidad, esto debido al incumplimiento de estándares por parte de los encargados de la gestión de la producción, transmisión y distribución de energía.

La producción de energía eléctrica es algo que se ha vuelto esencial para el desarrollo humano, buscar alternativas para la producción de ésta es de suma importancia, ya que, los métodos convencionales tienen ciertas limitantes o problemas sobre nuestra sociedad, tales como:

- Altas emisiones de gases de efecto invernadero: teniendo el riesgo de propiciar enfermedades respiratorias y de contribuir al aumento de la problemática del calentamiento global.
- Costos altos de producción e instalación; generando altos precios en la compra y venta de la energía.
- Costos elevados de los combustibles fósiles.

Para brindar una solución a los problemas antes mencionados, los sistemas de producción de energía por sistemas híbridos implementan diferentes tecnologías (alternativas), éstas con el propósito de comprometer menos al medio ambiente, un gran ejemplo de éstas son las energías renovables.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La investigación evaluará la prefactibilidad tecno-económica de la creación de un sistema de suministro de agua potable. Utilizará como fuente de alimentación un sistema de producción de energía eléctrica híbrido en la comunidad de "Nueva Guadalupe", ubicada en La Lima, Cortés, Honduras, Centroamérica. Cabe destacar que el sistema utilizará la tecnología fotovoltaica y generadores diésel.

Esta investigación facilitará a la ONG "Misiones del Agua", a realizar sus futuros proyectos independientes de la red de suministro de energía eléctrica e incluso mejorará el confort de las familias de la comunidad "Nueva Guadalupe". Y a su vez, eliminará cierta dependencia del sistema de suministro de energía nacional.

2.3 JUSTIFICACIÓN

La escasez de agua es un problema que viene afectando a diversos lugares en el mundo, esto ya sea debido a que no hay fuentes de agua disponibles en dicha zona o porque no hay manera de obtener el agua. Dicho esto, la importancia de encontrar diversas alternativas para suministrar agua potable a una comunidad o región que carezca de dicho suministro es de vital interés.

La propuesta de investigación proyecta una mejora en el suministro de agua para la comunidad de "Nueva Guadalupe", usando los inversores RSI Grundfos (Renewable Solar Inverter) y el PowerAdapt Grundfos, mediante el diseño de un sistema de suministro de energía híbrido, tanto fotovoltaico como de energía térmica. Refiriéndose a fotovoltaico como la energía derivada de la radiación solar, y a la energía térmica como la producción de energía eléctrica a partir de la combustión de hidrocarburos fósiles derivados del petróleo.

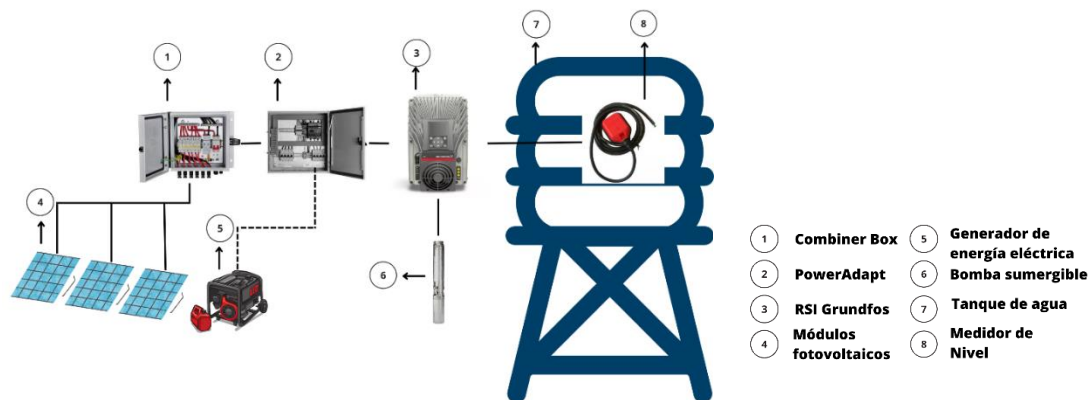


Ilustración 1- Sistema de suministro de agua energizado por un sistema híbrido.

Fuente: (Propia)

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- I. ¿Es viable satisfacer el consumo de agua potable de la comunidad de "Nueva Guadalupe" por medio de un sistema de suministro agua potable energizado por medio de un sistema híbrido de energía?
- II. ¿Cuáles son las especificaciones técnicas necesarias para la implementación de los componentes Renewable Solar Inverter y PowerAdapt?
- III. ¿Es factible energizar un sistema de suministro de agua potable por medio de un sistema híbrido de energía?

2.5 OBJETIVOS

Esta sección tocará los objetivos de nuestra investigación, mencionando estos de manera general o específica, los cuales serán la guía principal de nuestra investigación.

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la factibilidad tecno-económica de un sistema de suministro de energía híbrido fotovoltaico y de energía térmica (generadores diésel) para un sistema de bombeo, utilizando el RSI Grundfos (Renewable Solar Inverter) y el PowerAdapt, para suministrar agua potable y segura a la comunidad de Nueva Guadalupe localizada en la ciudad de La Lima, Cortés, Honduras, Centroamérica.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar los estudios meteorológicos, sobre el uso de módulos fotovoltaicos como fuente de energía eléctrica en la comunidad Nueva Guadalupe.
2. Evaluar la factibilidad técnica de aplicar un sistema híbrido fotovoltaico en comparación a un sistema trabajando con ENEE en el proyecto de Misiones del Agua en la comunidad Nueva Guadalupe.
3. Proyectar un sistema de suministro de energía híbrido fotovoltaico y energía térmica capaz de alimentar la demanda de energía exigida por el equipo de bombeo.
4. Estimar la rentabilidad económica, bajo los parámetros de VAN, TIR, ROI y el LCOE, de la aplicación de la tecnología RSI Grundfos y PowerAdapt en el proyecto "Nueva Guadalupe".

III. MARCO TEÓRICO

En este capítulo estaremos planteando un poco del escenario de la situación actual en un nivel de macroentorno y microentorno. También mencionará lo que es toda la teoría de sustento que será de apoyo para nuestra investigación.

3.1 DEPARTAMENTO DE LA LIMA

La Lima es una pequeña ciudad ubicada en el departamento de Cortés, en el país de Honduras ubicado en Centroamérica. Debido a su ubicación, es una ciudad bastante concurrida ya que sirve de enlace con otras ciudades importantes del país de Honduras. La ciudad de La Lima está dividida en dos zonas, en la zona llamada "La Lima Vieja"; que abarca todos los negocios y escuelas que se ubican en la entrada principal de la ciudad; y la zona "Lima Nueva", ubicada al otro lado del Puente sobre el Río Chamelecón, en esta zona se encuentra el Cuerpo de Bomberos, La Zona Americana, el Centro Social Chula Vista, El Instituto Guadalupano y los campos bananeros Casanova y Oro Verde, entre otros. (Municipal, 2015).

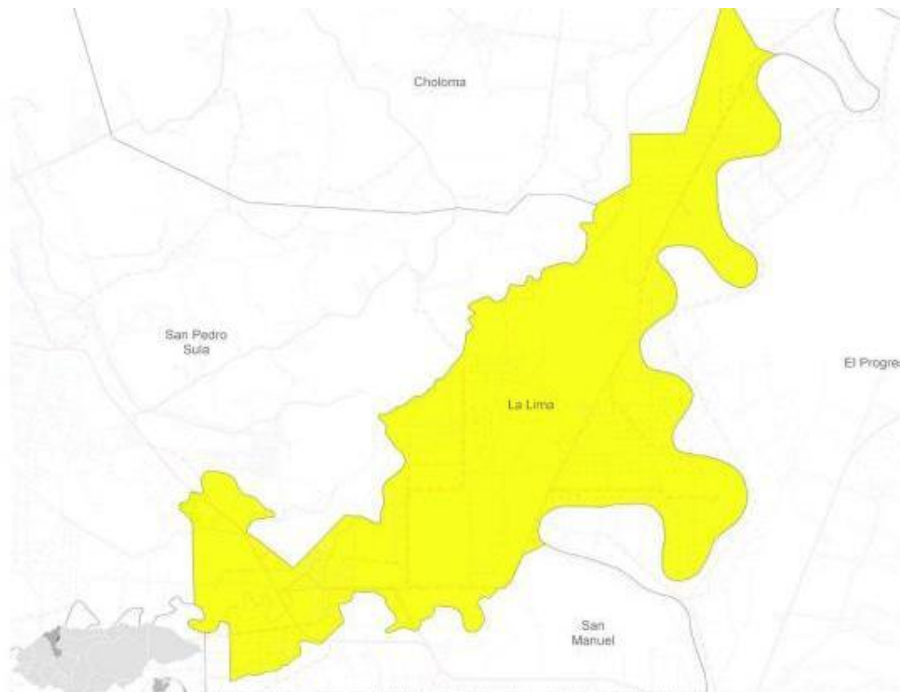


Ilustración 2-Mapa del Departamento de La Lima.

Fuente: (Municipal, 2015).

3.2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En la siguiente sección se presentará un análisis de la situación actual en el ámbito nacional, internacional y local sobre el tema central de nuestra investigación. Esto con el propósito de visualizar la evolución que está teniendo en un entorno general los sistemas híbridos. Se presentarán datos cuantitativos y cualitativos que ayudarán a indagar en la temática de la investigación.

3.2.1 ANÁLISIS DEL MACROENTORNO

La figura 3, muestra cómo con el pasar de los años los sistemas renovables han ido incrementando, y, con ellos la intermitencia, la cual es su principal desperfecto. Así nacen los sistemas híbridos, como alternativa a la intermitencia de estos sistemas renovables, pues éstos tienen muchas posibilidades de crecimiento junto con la adopción de tecnologías de almacenamiento, haciendo que de esta forma sean complementarios para proyectos a gran escala. El potencial para combinar tecnologías de generación de energía solar sigue creciendo a medida que los costos de instalación siguen cayendo en picada y a la vez las baterías se vuelven más grandes, pero a su vez más caras. (IRENA, 2021).

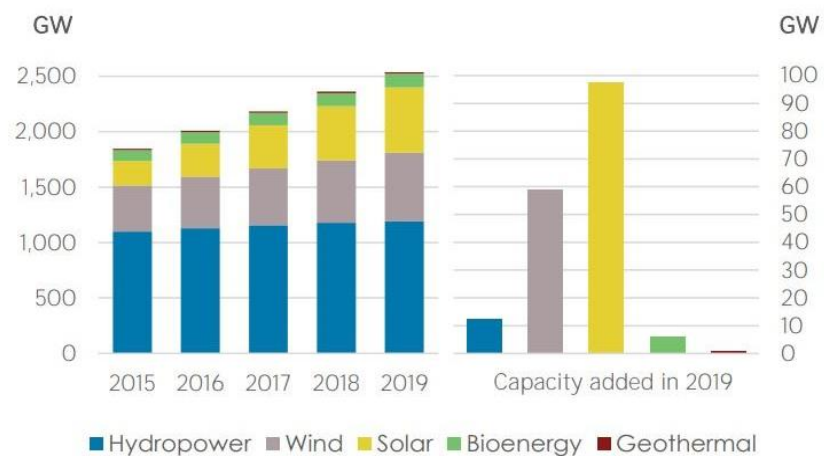


Ilustración 3- Crecimiento de la Energías Renovables.

Fuente: (IRENA, 2021).

3.2.1.1 Potencial Fotovoltaico Mundial

El potencial de generación de electricidad a partir de fuentes solares fotovoltaicas en la mayoría de los países eclipsa su demanda actual de electricidad. La mayoría de los inversores y cabezas políticas se preguntan si este potencial es lo suficientemente bueno y hasta cuánto puede llegar a escalar. Continuamente, el Banco Mundial se encuentra haciendo estudios sobre el potencial teórico, el potencial económico y la cantidad de energía que se puede llegar a generar; con base a costos de producción de energía. La figura 4, muestra el potencial de energía fotovoltaica global que existe actualmente en nuestro planeta. (Suri, 2020).

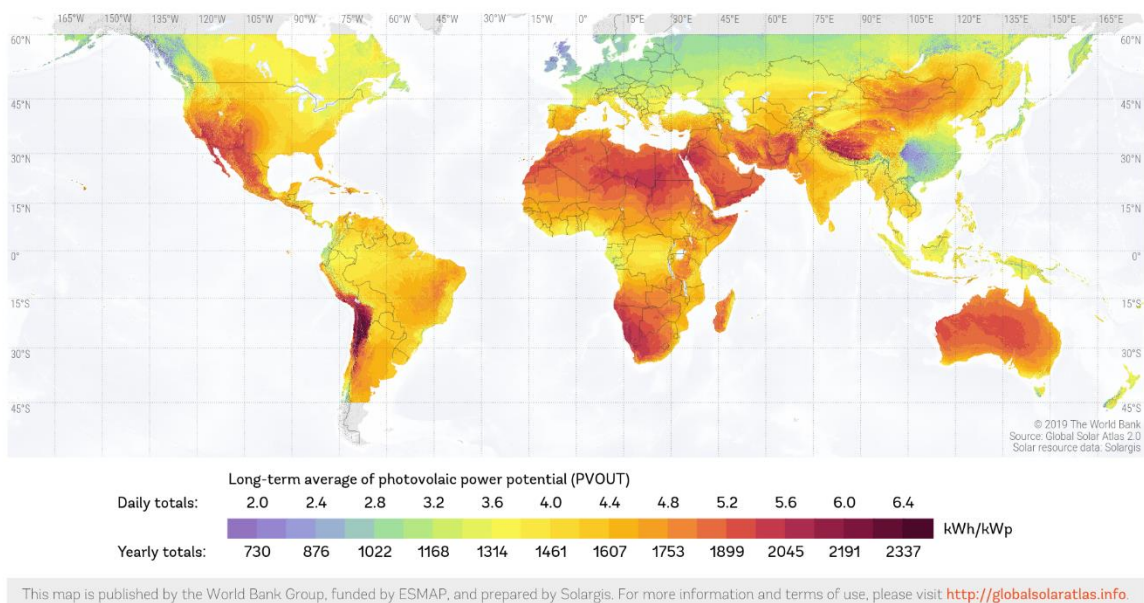


Ilustración 4- Potencial de energía fotovoltaica. Fuente: (Solargis, 2022).

3.2.1.2 Acumulado Total de la potencia Mundial

La figura 5 muestra el aumento de la producción de módulos fotovoltaicos; alrededor del 82% de los módulos fotovoltaicos en el mundo fueron producidos en Asia en el año 2010. En el año 2020, la producción mundial aumentó alrededor de un 92%. China (continental) ha contado con aproximadamente 97 GW para el 67% del módulo mundial de producción en el año 2020. La producción anual ha aumentado en un factor de 7 en esta década. (ISE, 2022).

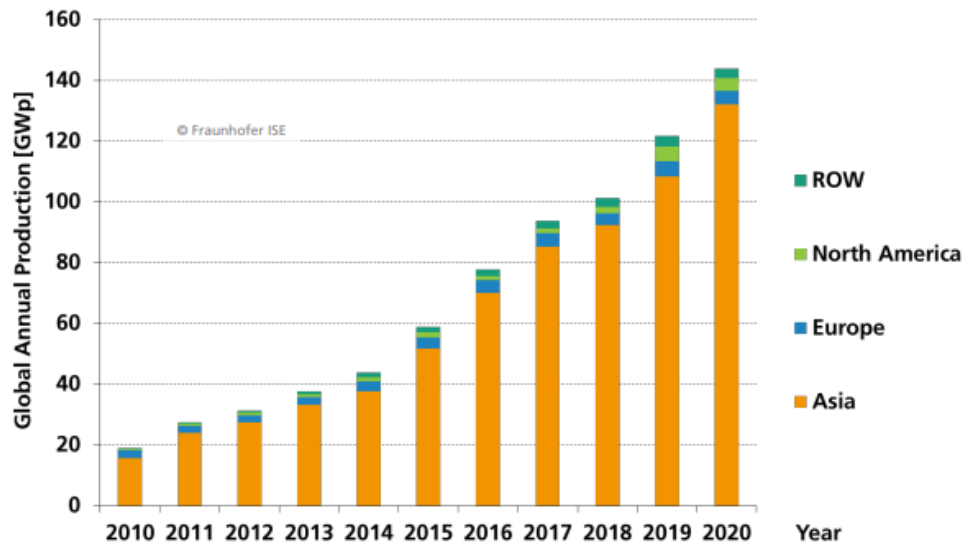


Ilustración 5- Producción Global Anual. Fuente: (ISE, 2022).

La figura 6 muestra el porcentaje del total acumulado de instalaciones fotovoltaicas por región, en el año 2020, y éste ha aumentado aproximadamente 710 GWp. Esto representa el crecimiento de esta tecnología y cómo ha ido evolucionando la demanda. (ISE, 2022).

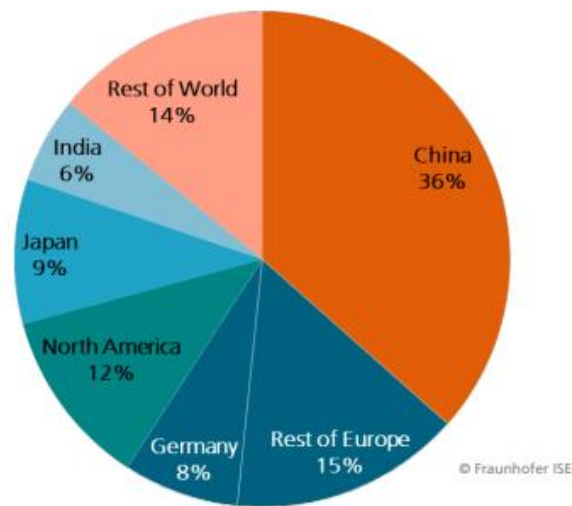


Ilustración 6- El porcentaje del total acumulado de instalaciones fotovoltaicas

Fuente: (ISE, 2022).

3.2.2 ANÁLISIS DEL MICROENTORNO

A lo largo de la siguiente sección, se hablará del microentorno con respecto a la temática central de la investigación, tocando temas como el precio de la energía en la región y a nivel del país Honduras, donde se realiza la investigación.

3.2.2.1 *Potencial Fotovoltaico en Honduras*

A lo largo de los años, Honduras ha pasado por muchas crisis energéticas y debido a esto surgieron leyes que promueven el uso de energías renovables en el país como alternativa para la producción de energía eléctrica. Pero no fue hasta el 2015, que se hicieron las primeras inversiones en sistemas fotovoltaicos, esto debido a que se fue creando una conciencia con respecto al potencial para la producción de energía a base de sistemas fotovoltaicos. La figura 7 muestra el potencial que tiene honduras para utilizar este recurso.

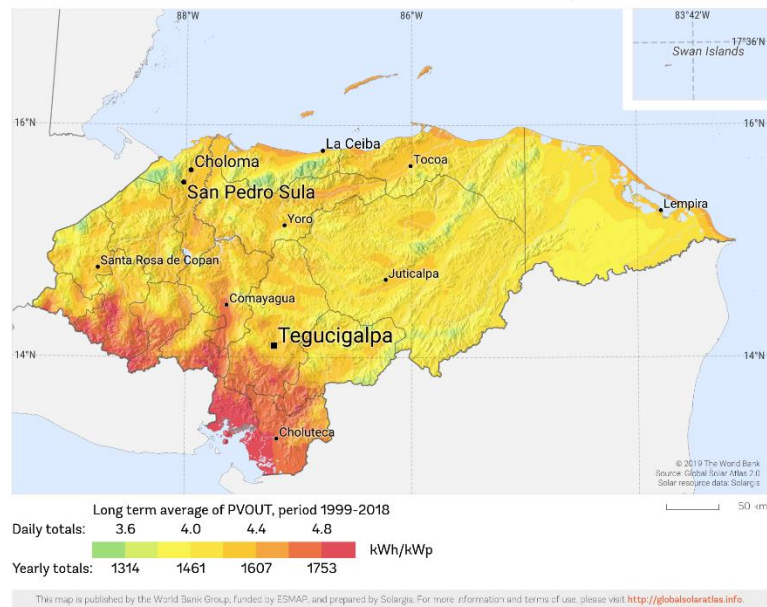


Ilustración 7- Potencial Fotovoltaico en Honduras.

Fuente: (Solargis, 2022).

3.2.2.2 Costo de la energía en la región

Los costos de la energía se mantienen dentro de un rango en la región de Centroamérica, aún así, Honduras se mantiene como una de las más altas en la actualidad. Las siguientes figuras (8-14) muestran una comparación de las tarifas de cada país.

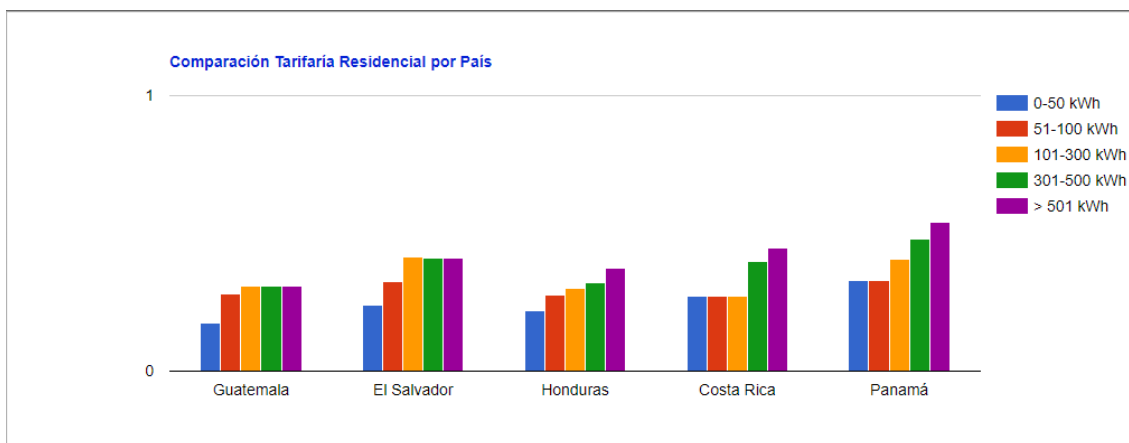


Ilustración 8- Comparación de Tarifa Residencial por País.

Fuente: (Asociación Nacional, 2018).

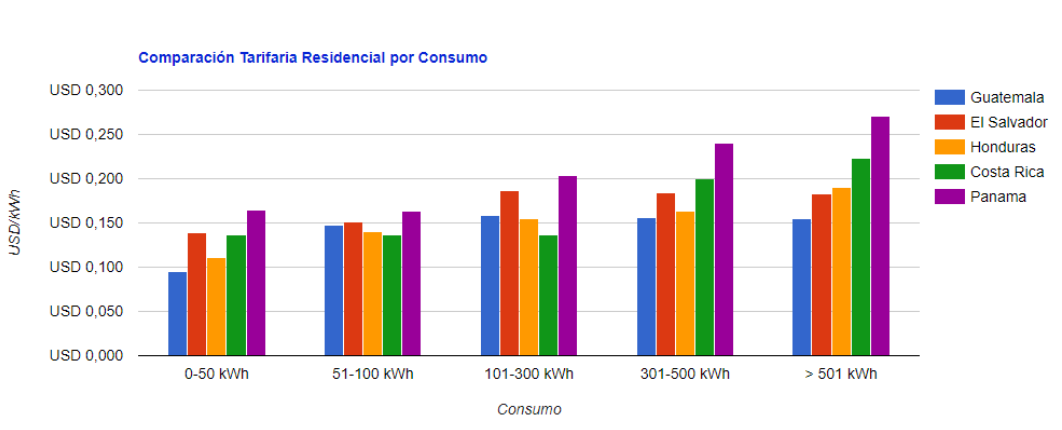


Ilustración 9- Comparación de Tarifa Residencial por Consumo.

Fuente: (Asociación Nacional, 2018).

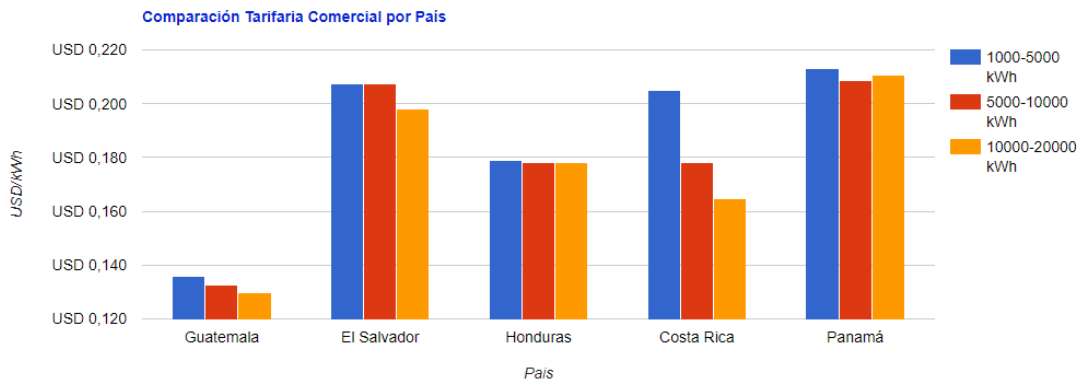


Ilustración 10- Comparación de Tarifa Comercial por País.

Fuente: (Asociación Nacional, 2018).

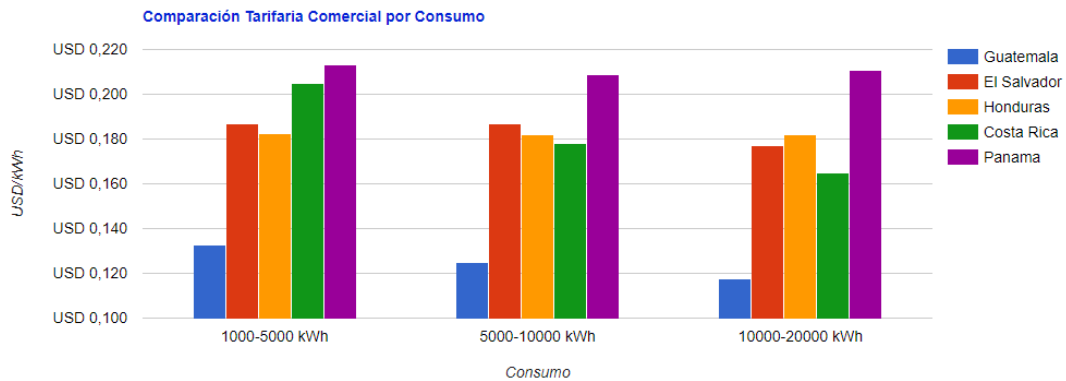


Ilustración 11- Comparación de Tarifa Comercial por Consumo.

Fuente: (Asociación Nacional, 2018).

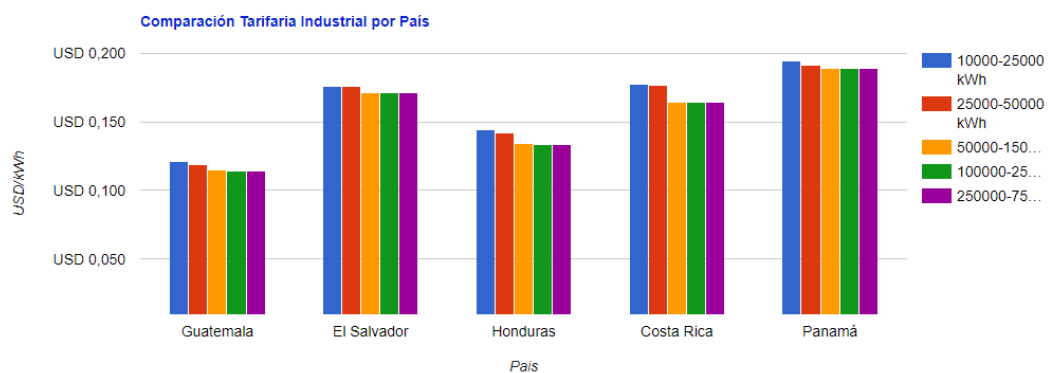


Ilustración 12- Comparación de Tarifa Industrial por País.

Fuente: (Asociación Nacional, 2018).

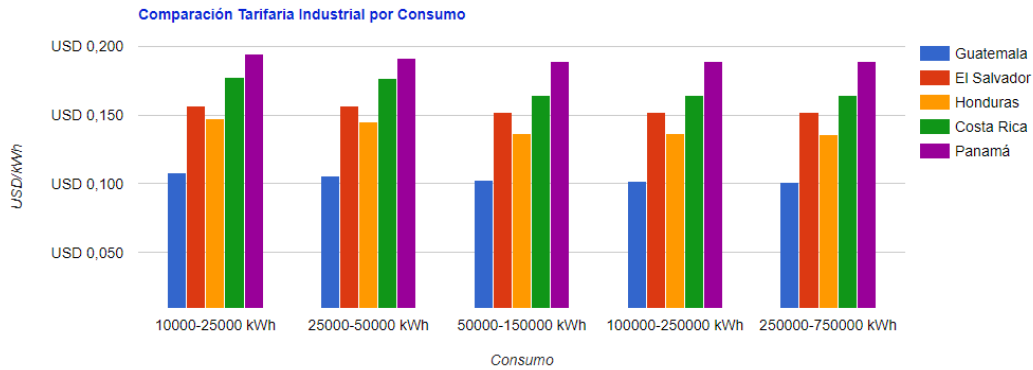


Ilustración 13- Comparación de Tarifa Industrial por Consumo.

Fuente: (Asociación Nacional, 2018).

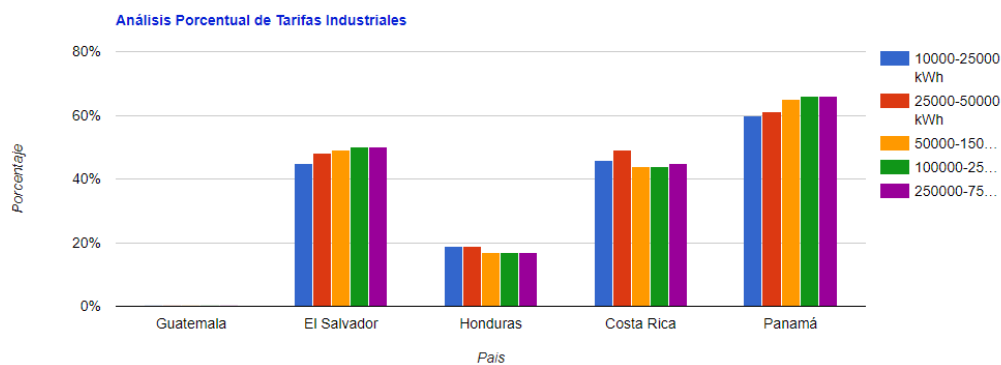


Ilustración 14- Comparación de Tarifa Industrial por Consumo.

Fuente: (Asociación Nacional, 2018).

3.3 TEORÍA DE SUSTENTO

3.3.1 SUMINISTRO DE AGUA

Los suministros de agua potable requieren ciertas condiciones ideales como: una fuente de agua inagotable y/o un sistema para almacenamiento, purificación, distribución y drenaje; esto viene a ser más importante en las zonas urbanas. Los suministros de agua son la parte esencial del desarrollo satisfactorio de una instalación o complejo de viviendas debido a la facilidad y comodidad de obtención de este recurso. (Carmona, 2010).

Dentro de los suministros de agua potable existen redes de distribución, cualquier tipo de instalación se debe hacer cerrando los circuitos para que así el sistema logre una distribución de presiones adecuada dentro de las tuberías. (Carmona, 2010).

3.3.2 SISTEMAS PARA LA EXTRACCIÓN DE AGUA (NO MECÁNICOS)

Existen muchos tipos de sistemas de suministros de agua, dependiendo de la aplicación de estos sistemas, se deben cumplir ciertas condiciones para su correcto funcionamiento. Usualmente, los complejos urbanos cuentan con las entidades municipales, las cuales se encargan de la repartición a las diferentes derivaciones de tomas domiciliarias que existan en tal complejo, a su vez estas municipalidades se encargan de que estos sistemas tengan las presiones adecuadas para la distribución de agua potable. (Roux, 2014).

3.3.2.1 *Sistema directo de la red*

Dependiendo de la capacidad de esta red y la presión que necesiten los edificios o domiciliarias que se encuentren en dicha zona, se logra saber si se podrá diseñar una instalación de alimentación directa o si se necesitará un sistema auxiliar. (Roux, 2014).

3.3.2.2 *Sistema por gravedad*

Podemos definir un sistema por gravedad como: el abastecimiento de agua por gravedad. Este tipo de abastecimiento parte de un lugar elevado, cabe aclarar que estos sistemas se instalan en lugares con una alta viabilidad y, además, que brinde la posibilidad de movilizar el equipo para que realice sus funciones de forma óptima. (Pérez, 2016).

Estos sistemas son muy utilizados cuando se presenta el problema de intermitencia en el sistema de suministro de agua potable, ya sea en una casa o en un sistema de distribución de agua potable. Este sistema, por lo general, se compone de un tanque de agua que almacena cierta cantidad de agua a gran altura determinada. Este tipo de sistema puede estar directamente conectado a la red, dependiendo de la presión a la que esté funcionando, ya que, si el sistema no puede satisfacer esta presión, se recomienda instalar un sistema de bombeo. (Roux, 2014).

Según (Castañeda, 2008), Para el diseño de estos tipos de sistemas se tiene que tomar en cuenta muchos criterios entre ellos:

- Altura de los edificios.
- Presión para imprevistos.
- Fugas y mantenimiento.

3.3.3 SISTEMAS ABASTECIMIENTO DE AGUA (MECÁNICOS)

Estos tipos sistemas se utilizan para proyectos específicos de demanda, los cuales necesitan una presión y caudal específicos dentro del mismo, esto con el fin de satisfacer las necesidades de abastecimiento en dicha zona.

3.3.3.1 *Sistemas de bombeo*

Dentro de los sistemas de bombeo existen diferentes criterios a tomar en cuenta, como: los parámetros de perforación a ser utilizada, el caudal de producción o el caudal que se pretende utilizar, el nivel estático y el nivel dinámico para el caudal deseado. A su vez, también es vital conocer la aplicación de nuestro sistema (centrifugador, inyector o de inmersión). (Pazv, 2015).

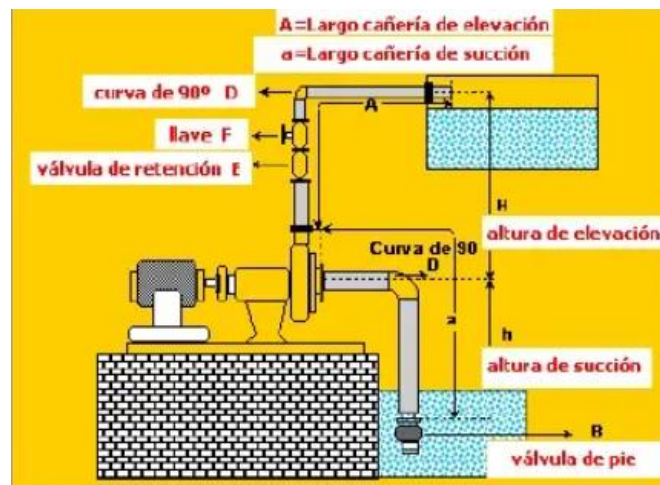


Ilustración 15- Esquema del Sistema de bombeo centrífugo.

Fuente: (Pazv, 2015).

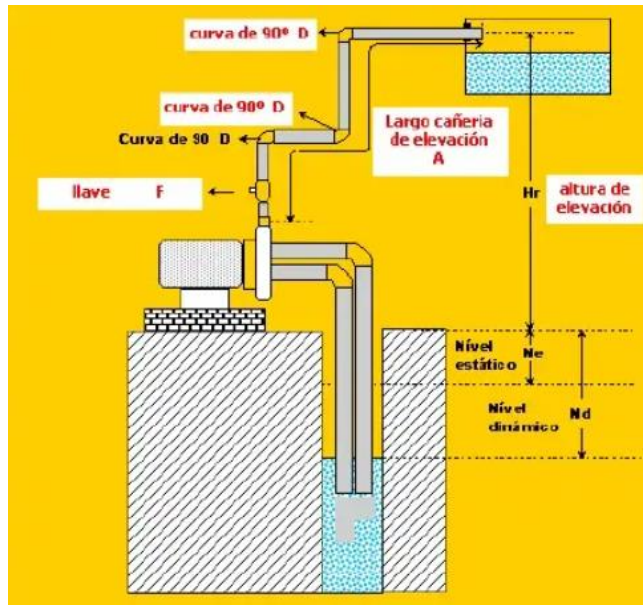


Ilustración 16-Esquema de sistema de bombeo inyector.

Fuente: (Pazv, 2015).

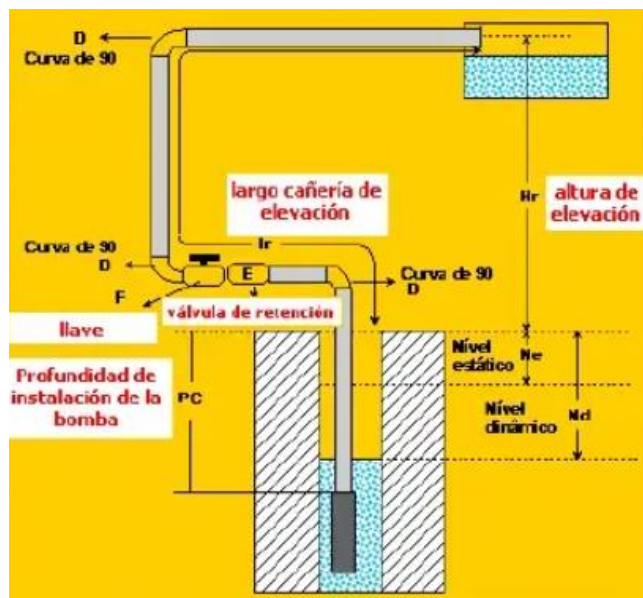


Ilustración 17- Esquema de sistema de bombeo inmersión.

Fuente: (Pazv, 2015).

Se debe analizar en el WDNs (Water Distribution Networks) y en el PDN (Power Distribution Network) ya que por medio del ataque a estos puntos se obtendrá información con la cual la intermitencia en nuestros sistemas de suministro de agua podrá ser reducida. (Stuhlmacher & Mathieu, 2020).

3.3.3.2 *Sistemas programados a presión constante*

Estos sistemas son muy útiles al momento de querer mantener la presión dentro de un rango, ha solucionado muchos escenarios en los cuales no se puede aplicar ninguno de los sistemas antes mencionados. (Mejía, 2017).

Los sistemas programados funcionan bajo la unión de una motobomba junto a un variador de velocidad, el cual se encarga de regular la velocidad de los motores, método por la cual a la regular dicha velocidad controlamos la presión a que el sistema esté siendo sometida. (Mejía, 2017).

3.3.4 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN

Las pérdidas de fricción son un factor para tomar en cuenta al momento de transportar el agua. La investigación desea suministrar agua potable, y para esto también se tendrá que transportar a los hogares en cuestión. (Carmona, 2010).

Un líquido que fluye por un tubo producirá una resistencia, ésta es conocida como rozamiento o pérdida de carga por fricción, sin importar el líquido que sea, éste producirá una fricción, a medida tenga el líquido contacto con las paredes de la tubería en donde es transportado. Éstas sólo se relacionan a las pérdidas dentro de una tubería, no a las pérdidas que pueden producirse dentro de una bomba. (Carmona, 2010).

En muchos de los casos, las pérdidas por fricción se pueden llegar a reducir al momento de la selección del tipo de tubería y accesorios. Las pérdidas irreversibles del sistema son las pérdidas producidas en la bomba ya que son pérdidas que siempre se encuentran. (Çengel & Cimbala, 2018).

3.3.5 CONSUMO DE AGUA

Dentro de esta investigación se atacará una parte muy esencial del suministro de agua: el consumo de agua potable normalmente producido por los usuarios. Éste se puede expresar en unidades m^3/d o l/d , en el caso del consumo per cápita se enuncia como $1/hab/día$. (Valarezo, 2018).

A su vez, existen factores que pueden llegar a afectar el consumo de agua. Con base en ellos se realiza la selección del equipo de bombeo para la investigación. La clasificación de los factores que afectan el consumo (Valarezo, 2018):

- Tipo de comunidad
 - Consumo doméstico.
 - Comercial o industrial.
 - Consumo público.
 - Consumo por pérdida en la red.
 - Consumo por incendio.
- Económico-sociales.
- Factores meteorológicos.
- Tamaño de la comunidad.
- Otros factores.
 - Calidad del agua.
 - Eficiencia del servicio.

La previsión de la demanda de agua es una herramienta eficaz para la planificación racional y gestión científica de los recursos hídricos, y a su vez, es una parte esencial del sistema de suministro de agua para su optimización, control y gestión. (Valarezo, 2018).

3.3.5.1 Demanda de agua

Este término es muy importante de conocer para esta investigación, ya que la demanda dictará la cantidad de agua requerida en el área del proyecto, esto siendo con base a los usuarios que se tengan en el lugar del proyecto, más las pérdidas de nuestro sistema. (Valarezo, 2018).

3.3.5.2 Dotación de agua

La dotación de agua se refiere a la cantidad de agua que debe tener cada habitante, considerando las necesidades de servicios que tenga a diario, sus unidades serían 1/hab al día. (Valarezo, 2018).

3.3.6 TANQUE DE AGUA

En el transcurso de la investigación se tendrá que analizar el posible caso en el cual se necesite un tanque de agua para el almacenamiento de ésta. Conocer el diseño de estos tanques es importante para cualquier proyecto que tenga como propósito suministrar agua potable. Cabe aclarar que existen diferentes tipos de tanques ya sean apoyados o elevados. (Pérez, 2016).

La comunidad donde se realizará el proyecto, en el caso de la existencia de un tanque de almacenamiento de agua, deberá facilitar los datos de diseño de dicho tanque, ya que para la selección del equipo de bombeo se necesita saber dichos datos los cuales son: volumen del tanque, altura del suelo con respecto al tanque de almacenamiento y distancia que existen del tanque hasta la ubicación del equipo de bombeo. (Pérez, 2016).

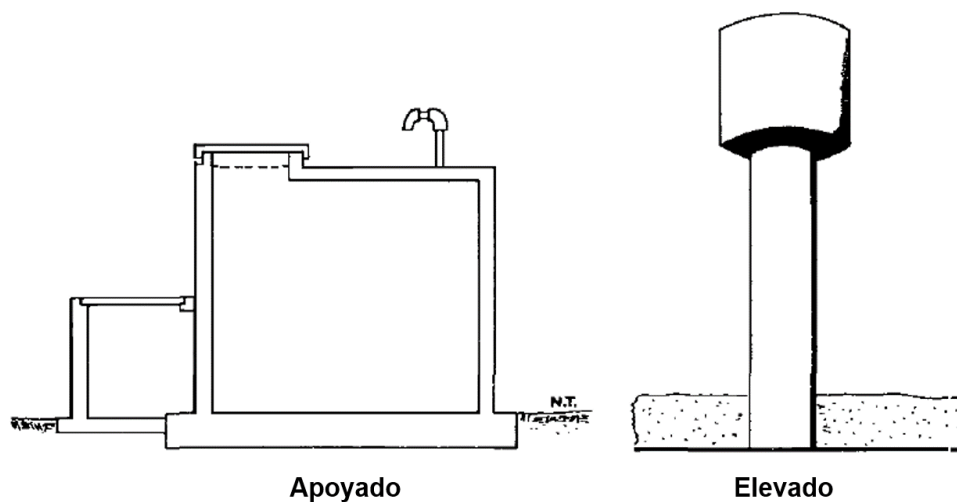


Ilustración 18- Diagrama de diferentes tipos de tanques de tanques.

Fuente: (Pérez, 2016).

3.3.7 SENSOR DE NIVEL

Para el dimensionamiento del sistema de bombeo es importante tomar en cuenta el control de encendido y apagado automatizado del equipo. Dicho control se hace mediante un sensor de nivel, estos sensores miden el nivel del agua dentro de un tanque de almacenamiento. Esta medida otorga información directamente a la bomba y con respecto a la información medida, el sistema de bombeo arranca o se detiene. (Grundfos, 2020).



Ilustración 19- Sensor de nivel.

Fuente: (Grundfos, 2020).

El sistema de control de nivel se encuentra comúnmente en la industria de procesos tales como: fabricación de bebidas, producción de alimentos, filtración de soluciones y producción de sustancias químicas. (Li & Huang, 2010).

Existen diferentes métodos combinados en los cuales se logra una doble retención, esto para obtener un nivel estable y preciso del agua dentro del tanque de almacenamiento. (Li & Huang, 2010).

3.3.8 BOMBAS SUMERGIBLES

Para la investigación será indispensable conocer este tipo de bombas ya que son las más adecuadas al momento de querer extraer aguas de un pozo ya que son fuentes de aguas subterráneas, las cuales no son de fácil acceso. Las bombas sumergibles son unidades las cuales combinan un motor y una bomba en una misma unidad, esta unidad viene siendo cerrada y se adapta al tipo de instalación. (Grundfos, 2020)



Ilustración 20- Ejemplo de una bomba sumergible marca Grundfos.

Fuente: (Grundfos, 2020).

Según (Grundfos, 2020), se encuentran dos tipos de posibles instalaciones de bombas sumergibles:

- Una bomba sumergible con un motor sumergible.
- Una bomba sumergible, pero con un motor seco.

A su vez encontramos varias versiones de bombas sumergibles, La bomba viene en una sola etapa y una versión de etapas múltiples. La bomba sumergible puede conectarse a una tubería vertical con una válvula de retención, o también puede instalarse conectada a una manguera flexible u otros dispositivos. Las bombas están especialmente diseñadas para sumergirse en un líquido y, a menudo, están equipadas con un motor sumergible sellado herméticamente. El motor y la bomba están conectados con un acoplamiento, desde el eje de la bomba hasta el eje del motor. La alimentación al motor se alimenta a través de uno o más cables flexibles estancos. (Grundfos, 2020).

3.4 SISTEMAS DE ENERGÍA HÍBRIDOS

3.4.1 ¿QUÉ SON LOS SISTEMAS HÍBRIDOS?

Se puede definir como un sistema de energía híbrido, aquel sistema que aplique la unión de dos o más recursos de energía para la generación de ésta, con el objetivo de alimentar los diferentes dispositivos que lo requieran. Dichos sistemas pueden utilizar fuentes alternativas de energía como son las energías renovables como, por ejemplo, la energía solar y la eólica. (Nieto, 2022).

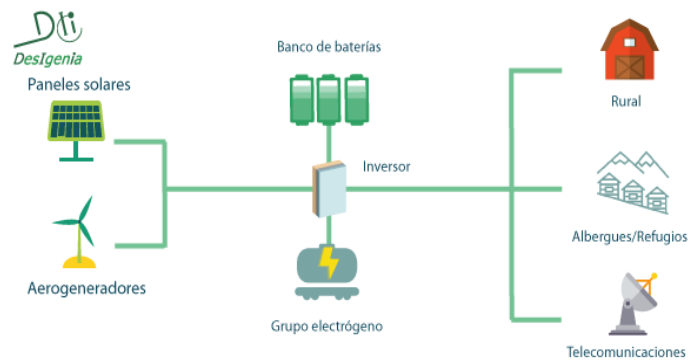


Ilustración 21-Esquema de ejemplo de un sistema híbrido.

Fuente: (Desigenia, 2017).

En esta investigación se busca atacar la gran desventaja que tienen este tipo de sistemas, la cual, se basa en su dependencia de baterías, hecho que permite que se generen muchas pérdidas de energía al momento de la producción de la energía. Esta pérdida se genera en distintos puntos del sistema lo que la hace muy difícil de compensar. Por esta razón, los sistemas de energía renovable sufren con respecto a su eficiencia. (Nieto, 2022).

3.4.2 GENERADOR ELÉCTRICO

Los generadores eléctricos son máquinas utilizadas para la producción de energía de manera constante a través del tiempo, debido a su capacidad de transformar energía de cualquier tipo a una corriente eléctrica. Existen muchas fuentes de energía por las cuales éstos pueden trabajar como: la energía química, energía mecánica o energía térmica. Estos generadores tienen muchos mecanismos por los cuales pueden llegar hacer esta transformación de la energía, como: turbinas de vapor, turbina de gas, turbina de agua y motores de combustión. La mayoría de los

generadores eléctricos tienen una gran ventaja, ya que pueden mantener una diferencia de potencial eléctrico entre un rango que necesitemos y, por ende, un gran apoyo al momento de trabajar con sistemas híbridos. (Planas, 2017).

Tipos de funcionamiento de los generadores.

Según (ISO 3046, 2002), para uso de los generadores existen diferentes clasificaciones de la potencia, éstas se clasifican en:

- Potencia Stanby: esta potencia normalmente utilizada para cuando el generador eléctrico solo se utilizará en condiciones de emergencia o por un número específico de horas.
- Potencia Prime: esta potencia se da cuando se utiliza el generador para que entregue su potencia máxima y por número de horas prolongado o ilimitado.

3.4.3 ENERGÍA SOLAR

La energía solar es la que se origina mediante el recurso de la radiación solar que proviene del Sol a la Tierra. La producción de energía a base de este recurso está en pleno desarrollo y crecimiento, ya que en el pasado era una tecnología conocida por su alto costo y poca eficiencia, pero con el pasar de los años la energía solar se ha transformado en la alternativa para muchos países en cuanto a producción de energía nos referimos, debido a que la tecnología ha ido mejorando y volviéndose más eficiente. (Rojas et al., 2021).

Estos sistemas tienen grandes ventajas: la gran versatilidad de la tecnología y que tienen alto potencial de aglutinación con otros sistemas para mejorar. Un claro ejemplo es el aprovechamiento de la energía solar para crear sistemas híbridos de calefacción junto con una bomba de calor geotérmica. Este sistema combina los colectores de energía solar y la bomba de calor geotérmica con el equipo de calefacción. Eso puede satisfacer la demanda de la construcción para proporcionar calor en invierno y frío en verano. Sin embargo, la gran desventaja, como con todas las energías renovables, es la poca estabilidad que nos otorgan estos sistemas. (Yi et al., 2009).

3.4.3.1 Radiación solar

Para comprender la radiación solar primero es importante entender de dónde proviene, como se sabe, el Sol es la principal fuente de radiación para el planeta. El Sol produce 3.86×10^{26} Joules de energía cada segundo, pero no toda esa energía la recibe la Tierra, en cambio, ésta se desplaza por todo el espacio causa que la energía vaya disminuyendo hasta llegar al planeta, a este tipo de energía se le conoce como radiación. (Barbatunde, 2012).

La radiación tiene muchas formas para ser medida:

- La irradiación solar global mide de forma total cuánta radiación recibe un lugar.
- La irradiación solar directa mide la radiación que entra directamente de la atmósfera a la superficie terrestre sin obstáculo alguno.
- La irradiación difusa es el resultado de la irradiación que es reflejada por partículas que se encuentren en la atmósfera.

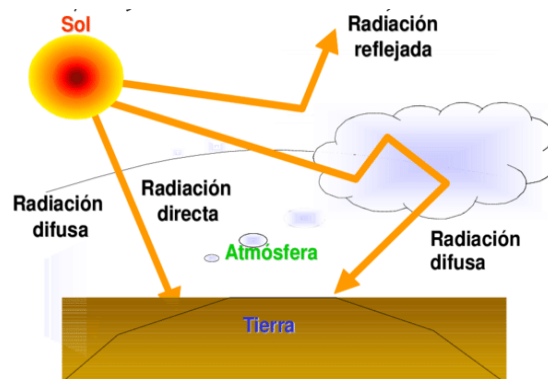


Ilustración 22– Esquema de la Radiación Llegando a la Tierra.

Fuente: (Navntoft, 2017).

3.4.3.2 Módulos fotovoltaicos

Los módulos solares son el corazón de un proyecto que involucre energía solar. Una celda solar sola no puede proporcionar la potencia que se necesita para alimentar un sistema de bombeo, entonces los módulos fotovoltaicos son un conjunto de celdas solares que dependiendo de la

cantidad de celdas nos dará una potencia de salida. Por lo cual, los módulos fotovoltaicos son lo básico para la producción de energía solar. (Huacong, 2015).

En un módulo solar, las celdas solares están conectadas de la misma manera que las unidades de celdas de batería en un sistema de banco de baterías. Eso significa que los terminales positivos de una celda conectada al voltaje del terminal negativo del módulo solar es una simple suma del voltaje de las celdas individuales conectadas en serie en el módulo. (Huacong, 2015)

Para la selección de los módulos fotovoltaicos se tiene que tomar en cuenta: la radiación, inclinación del terreno de instalación, y la potencia necesaria para alimentar el sistema o proyecto que queramos satisfacer. (Huacong, 2015).

A su vez, se debe tener en cuenta el efecto que tendrá la sombra sobre nuestros módulos ya que ésta puede llegar afectar la producción de nuestros módulos. La energía que produzca el módulo será directamente proporcional al porcentaje de sombra que se refleje. (Pérez, 2016).



Ilustración 23- Efectos de la sombra en los módulos fotovoltaicos.

Fuente: (Pérez, 2016).

3.5 RSI

El RSI es el sistema de Grundfos Inversor Solar Renovable, diseñado para funcionar ya sea de forma continua o intermitente. Este inversor con aplicaciones para suministro de agua será la tecnología utilizada para la investigación. El suministro es el adecuado si se utiliza en los puntos en los que haya menor satisfacción en cuanto a la demanda de agua, utilizando el sistema de bombeo alimentado por solar para cambiar de dirección la anterior afirmación; y en el caso de que se necesite por la noche, se utilizará un tanque de almacenamiento de agua, lo cual permite al sistema bombeo diseñado, junto con el RSI, siempre mantener la demanda de agua satisfecha. (Grundfos, 2020).

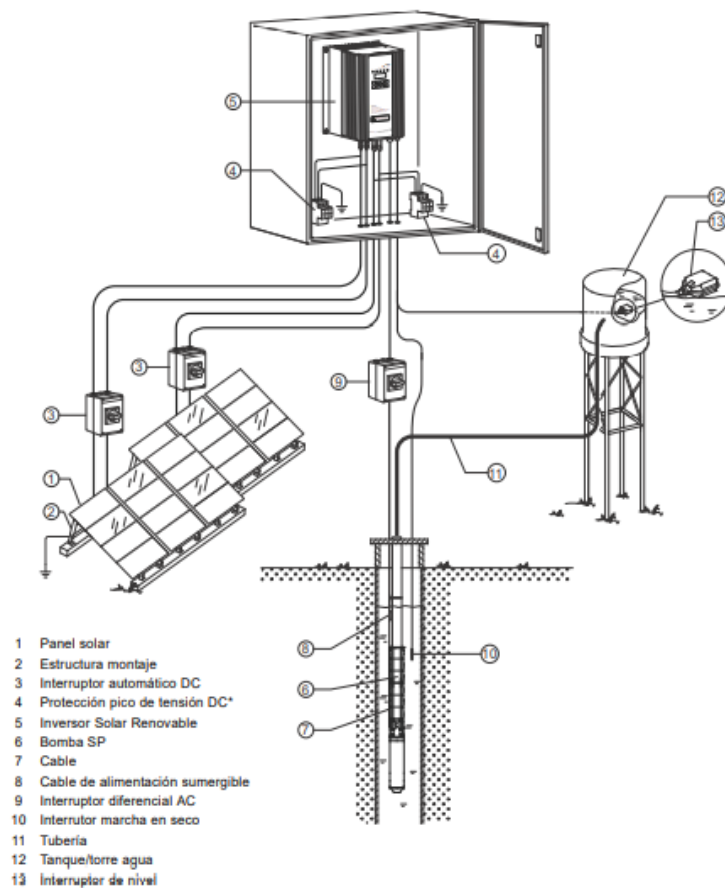


Ilustración 24- Diagrama de aplicación del RSI.

Fuente: (Grundfos, 2020).

El inversor tiene una tecnología de seguimiento de potencia máxima junto con la función MPPT la cual optimiza continuamente la potencia que estará entrando al mismo además de todas las protecciones necesarias como: protección de sobrecarga, sobreintensidad, exceso de temperatura y no carga. (Grundfos, 2020).



Ilustración 25- RSI.

Fuente: (Grundfos, 2020).

3.6 POWERADAPT

PowerAdapt es una solución de mezcla de energía que utiliza energía solar como fuente primaria. Recarga la falta de alimentación con la fuente de alimentación de CA conectada para crear una potencia de salida constante, permite una experiencia de operación continua y proporciona la opción para funcionar incluso si la fuente de alimentación de CA está desconectada. Es un complemento importante para la investigación, ya que junto al RSI, comprobará la hipótesis. Éste únicamente funciona conectado por separado al RSI y tiene una unidad de control, la cual se encarga de regular la carga AC en caso de que el RSI llegue a su límite. (Grundfos, 2020).



Ilustración 26- Poweradapt.

Fuente: (Grundfos, 2020).

IV. METODOLOGÍA

Este capítulo engloba el desglose del enfoque metodológico que tendrá nuestra investigación, enumerará sus diferentes variables, planteará la hipótesis central, y describirá la metodología de estudio junto con su validación.

4.1 ENFOQUE

Para la siguiente investigación es de vital importancia tener una metodología a seguir, ya que, será crucial para conocer los límites de ésta. Éste funciona a base del entendimiento de nuestro marco teórico mediante los procesos específicos y metódicos que serán establecidos. El enfoque tiene como objetivo ayudar a describir el alcance que tendrá nuestra investigación.



Ilustración 27-Metodología de Investigación.

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

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

En esta sección se desglosarán las variables que nuestra investigación envuelva ya sean: dependientes o independientes. Las dependientes nos indicarán a donde queremos llegar y las independientes afectarán nuestras variables dependientes, ya sea de manera positiva y/o negativa.

4.2.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

a. Radiación solar.

La producción de energía a base de recurso solar depende mucho de la radiación que llegue al terreno o la superficie de la tierra donde esté ubicado el proyecto. Ésta viene afectando a nuestra variable dependiente (producción de energía), ya que dependiendo de la cantidad de radiación solar que reciban los módulos fotovoltaicos se determinará la cantidad de energía a producirse.

b. Temperatura Ambiente.

La temperatura es algo muy importante a tomar en consideración al momento de la producción de energía. Debido a que ésta afecta el rendimiento de los módulos fotovoltaicos, un rango de temperatura óptima fluctuaría entre 20 y 25 grados Celsius, esto para su adecuado funcionamiento, cabe aclarar que esto puede variar según el proveedor de los módulos fotovoltaicos. Las celdas solares al estar expuestas a temperaturas por encima del intervalo deseado tendrán un sobrecalentamiento, lo cual afectará su eficiencia, en cambio, al estar expuesto a temperaturas ideales o estándar se evitará el sobrecalentamiento y, por ende, se aproximará a su eficiencia de diseño.

c. Demanda de agua potable.

Esto es algo muy importante de evaluar al momento del diseño de nuestro sistema de extracción y suministro de agua, debido a que el equipo de bombeo será diseñado con base a ésta. La correcta selección de este equipo es indispensable para satisfacer la demanda anticipada y futura de la comunidad.

d. Demanda energética.

La demanda energética es el factor fundamental que afectará el diseño de nuestro sistema híbrido de producción de energía, ésta determinará el tamaño de nuestro sistema híbrido y la cantidad de energía que debe satisfacer.

4.2.2 VARIABLES DEPENDIENTES

a. Producción de energía eléctrica.

Esta producción de energía se obtiene de diversas fuentes de generación, por fines de la investigación, plantearemos el caso en el cual su obtención se basa en los recursos solares y térmicos antes mencionados. Ésta se empieza obtener desde el momento que nuestro equipo de módulos fotovoltaicos está expuesto a la radiación necesaria para iniciar el proceso de producción de energía con el objetivo de alimentar nuestra carga energética actual. Otra manera en la que obtendremos esta producción de energía eléctrica es por medio de generadores eléctricos ya que estos comenzarán a suplir energía eléctrica de manera casi inmediata.

b. Entrega de agua potable.

La entrega de agua potable dependerá de la producción de energía eléctrica, ya que con esta se satisface nuestro sistema de bombeo, el cual es el encargado de la entrega de agua potable.

c. Diseño del sistema de bombeo.

Para el diseño del sistema de bombeo se tienen que tomar en cuenta muchas variables como, por ejemplo, el tamaño del tanque de almacenamiento de agua o la cantidad de agua a disposición para ser bombeada. Además de las variables antes mencionadas, de igual manera, se deben considerar las condiciones climáticas a las que se enfrentará nuestro sistema de bombeo. Cabe aclarar que al final éste solo dependerá de la demanda de agua potable.

d. Diseño de sistema fotovoltaico.

Éste dependerá netamente tanto de la potencia y de la demanda energética que necesita alimentar dicho sistema, como de la cantidad de radiación que llegue a la zona donde se instalará el proyecto, así como de la inclinación del terreno y de la disposición de éste.

e. Vida útil de los módulos fotovoltaicos.

La vida útil de los módulos fotovoltaicos dependerá tanto de las temperaturas y condiciones climatológicas a las que se expongan, como de la degradación que éstos tengan con el pasar de los años y del mantenimiento que se les dé a estos módulos.

f. Selección del generador eléctrico.

Es dependiente del tamaño del sistema de bombeo, puesto que en los momentos en los cuales el sistema fotovoltaico no logre satisfacer la demanda energética del equipo de bombeo, los generadores entrarán como equipo complementario para dicho escenario.

g. Vida útil del generador eléctrico.

La vida útil del generador eléctrico es algo que afectará la producción de energía (nuestra variable dependiente), ya que se ve amenerado por el tiempo a causa de la degradación que disminuye la eficiencia de producción de energía gradualmente.

h. Costo de Capital.

Consta de la inversión inicial, varía con respecto al tamaño del proyecto ya que se toma en cuenta el presupuesto que engloba todos los costos causados por: módulos, inversores, estructura, accesorios y cables.

i. Costo específico de capital.

El costo específico de capital lo podemos definir como: el costo específico de cada kWp que tengamos instalado en nuestro proyecto, éste dependerá directamente de nuestra inversión, la cual, como mencionamos con anterioridad se define en nuestro presupuesto.

j. LCOE.

Según (Homer, 2017), el costo nivelado de energía (LCOE) se define como el costo promedio por kWh de energía eléctrica útil producida por el sistema. El costo nivelado de la energía dependerá de la producción, el costo de capital y del dimensionamiento del sistema de producción de energía.

k. VAN.

El valor actual neto (VAN) sirve para determinar la viabilidad de un proyecto, esto midiendo flujos de ingresos y egresos futuros; pues para que un proyecto sea rentable tiene que quedar alguna ganancia.

I. TIR.

Éste es un indicador que nos refleja la rentabilidad de nuestro proyecto. Dependerá directamente de nuestra inversión y ayudará a la toma de decisiones con respecto a ésta.

m. ROI.

Según (Homer, 2017), El retorno de la inversión (ROI) es el ahorro de costos anual en relación con la inversión inicial. El retorno de la inversión también se evalúa bajo la vida útil de nuestro sistema de producción de energía, ya que con base a ésta se evaluará la rentabilidad económica, siendo el retorno de nuestra inversión un criterio indispensable para su valoración.

n. Periodo de recuperación de la inversión.

Hace mención del tiempo que le tomará a nuestro proyecto recuperar la inversión, dentro de esta evaluación se toma en cuenta la renovación del equipo y el mantenimiento de este.

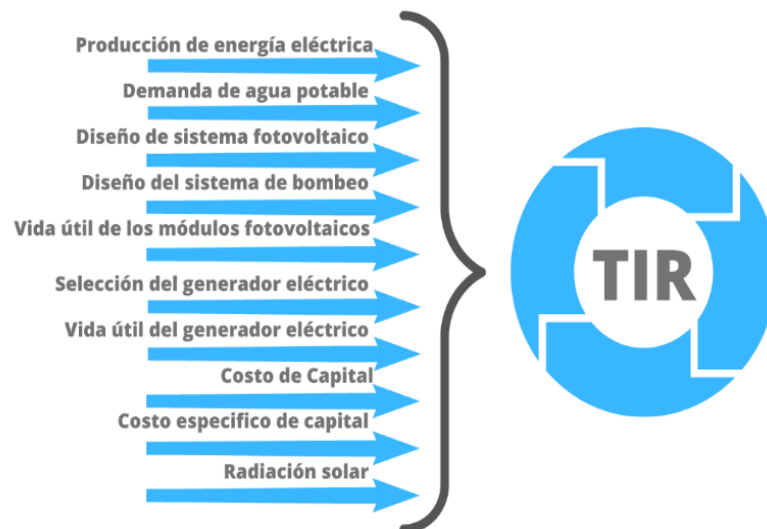


Ilustración 28 Variables de Investigación.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2 HIPÓTESIS

La hipótesis nos sirve como una guía para que la investigación siga una vía correcta, a su vez, busca responder nuestras preguntas de investigación y comparar el escenario entre dos variables o más. A continuación, se presentan las hipótesis de investigación, con el fin de determinar si es viable implementar un sistema híbrido solar fotovoltaico por medio de la tecnología del RSI y PowerAdapt Grundfos en la comunidad de Nueva Guadalupe:

Hi: El sistema híbrido solar fotovoltaico creado por medio de la tecnología del RSI y PowerAdapt Grundfos en la comunidad de Nueva Guadalupe tiene una TIR que supera nuestro costo de capital promedio ponderado.

Ho: El sistema híbrido solar fotovoltaico creado por medio de la tecnología del RSI y PowerAdapt Grundfos en la comunidad de Nueva Guadalupe **no tiene** una TIR que supera nuestro costo de capital promedio ponderado.

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS



Ilustración 29-Técnicas e instrumentos aplicados.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 GOOGLE EARTH

Es un programa geomático que nos facilita la visualización y análisis de imágenes de nuestro planeta. Se utilizará para hacer estudios de la zona del proyecto, para así analizar las condiciones del sitio y una posible ubicación para el sistema de módulos fotovoltaicos.

4.3.2 NASA POWER

Es una herramienta que provee los datos solares y meteorológicos para brindar un soporte a las energías renovables. Esta herramienta se utilizará para hacer un análisis de todos los factores climatológicos necesarios para la investigación.

4.3.3 HOMER PRO

Una herramienta utilizada para el dimensionamiento y simulación de sistemas híbridos de producción de energía. Programa que se utilizara para el diseño y simulación del sistema hibrido de producción de energía de módulos fotovoltaicos y generadores.

4.3.4 MICROSOFT EXCEL

Excel es una hoja de cálculo que se utiliza para hacer cálculos, gráficas y tablas calculares. Facilitará la realización de gráficos, cálculos y tablas necesarias en la investigación.

4.3.5 GRUNDFOS PRODUCT CENTER

El Grundfos Product Center es una herramienta utilizada para el dimensionamiento de sistemas y equipo de bombeos de acuerdo con la carga dinámica a la que se enfrentan. Nos facilita el dimensionamiento de la bomba necesaria para satisfacer la demanda de agua potable de nuestro proyecto.

4.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

Esta sección evaluará el tamaño de la población junto con la muestra necesaria para la realización de nuestra investigación.

4.4.1 POBLACIÓN

La investigación se realizará en La Lima, Cortes, Honduras país ubicado en Centro América. Se realizará específicamente en la Comunidad de Nueva Guadalupe, la cual consta de aproximadamente 200 familias. (Referirse a Figura 2).

4.4.2 MUESTRA

Al momento de realizar y planificar un estudio no hay nada más importante que conocer el número de muestras necesarias para que sea considerado una investigación válida, para esto necesitaremos calcular el tamaño de nuestra muestra. Calcularemos el tamaño de ésta con base a la siguiente formula:

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

Donde:

Z=Nivel de Confianza

p=Porcentaje de la población que tiene el atributo deseado

q=Porcentaje de la población que no tiene el atributo deseado=1-q

Nota: cuando no se conoce el valor de p y q se asume que ambas son de 50%

N=Tamaño de nuestra población

e= Margen de error utilizado

$$n = \frac{200 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{(200 - 1) * (0.15)^2 * 0.5 * 0.5} = 35.3251 \approx 36 \text{ familias}$$

Ecuación 1- Cálculo de la muestra.

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

A lo largo de nuestra investigación se presentará un enfoque cuantitativo, el cual se guía bajo el cálculo de las variables antes definidas y/o mencionadas. Los datos de cada variable se obtendrán mediante simulación y cálculos, para posteriormente presentar su respectivo análisis y resultados; estos serán reflejados mediante gráficas y tablas.

La simulación y cálculos de datos sobre nuestras variables hacen que nuestra investigación tome un alcance descriptivo, en vista de que por medio de estos datos se realizará el análisis técnico y económico antes mencionado. Se planteará un estudio no experimental por el motivo de que no se experimentará con nada nuevo, en cambio, se estará analizando un entorno o sistema concebido con anterioridad.

Con anterioridad se identificó un problema para nuestra investigación: la insatisfacción de la demanda de agua potable de la comunidad "Nueva Guadalupe", debido a la falta de creación de un sistema de suministro de agua potable estable. Se desea realizar una recolección de la demanda de agua potable en la comunidad antes mencionada para así evaluar la cantidad de salida que debe proveer el sistema de bombeo, lo cual nos llevara a la evaluación de un sistema de producción de energía híbrido que cumpla con las condiciones adecuadas para la satisfacción de la demanda energética de nuestro sistema de bombeo. Este proceso acciona la libertad de satisfacer a la comunidad de "Nueva Guadalupe" con agua potable con un sistema de producción de energía Off-grid, proporcionando una alternativa ante la gran inestabilidad del suministro de energía en el país de Honduras.

4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

En esta sección se basará en estipular como se validarán todos los estudios que se estarán realizando a lo largo de nuestra investigación y a su vez validar la diferente metodología a utilizar.

4.6.1 ANÁLISIS TÉCNICO



Ilustración 30-Metodología de Validación Técnica.

Fuente: Elaboración Propia.

4.6.1.1 Evaluación de la dotación de agua por familia

Para poder evaluar la dotación correcta de agua por familia, se tomará en cuenta el tipo de zona en la que está ubicada la comunidad. Dependiendo ésta se estipulará cierta cantidad de galones de agua por día.

La evaluación se realiza con base a un recorrido y sondeo en la zona de la comunidad del proyecto, haciendo una recolección de datos del promedio de integrantes por familia y la cantidad necesaria de agua por persona. Refiriéndonos a tipo de zona como: rural o urbana.



Ilustración 31- Comunidad Nueva Guadalupe.

Fuente: Elaboración propia.

4.6.1.2 Proceso del dimensionamiento del sistema de bombeo

Conociendo la dotación de agua por persona y la cantidad de familias en la comunidad del proyecto se desarrollará dimensionamiento del sistema de bombeo del agua potable utilizando como criterios: la demanda de agua, aplicación de la bomba, distancia de la bomba al tanque de agua y la altura del tanque de agua.



Ilustración 32- Tanque de agua utilizado por la comunidad.

Fuente: Elaboración propia.

El dimensionamiento se realizará utilizando la herramienta de Grundfos Product Center junto con el apoyo de una base de datos depurada en Excel, éstas nos facilitarán la selección de la bomba necesaria y los criterios correctos para su adecuado funcionamiento. (Referirse a Anexos 1 y 2).

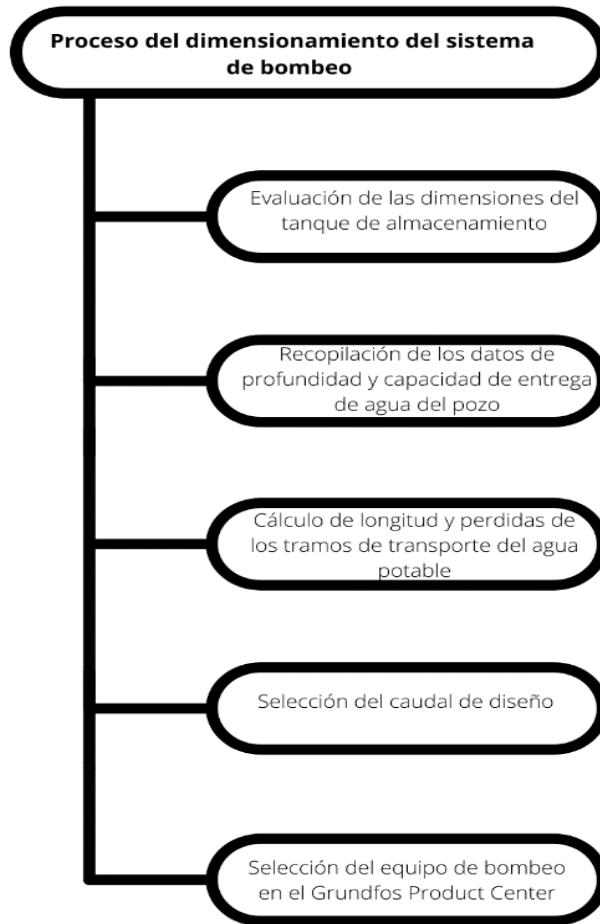


Ilustración 33-Proceso de dimensionamiento del equipo de bombeo.

Fuente: Elaboración propia.

4.6.1.3 Obtención de los datos de radiación en zona

Los datos de radiación los obtendremos mediante la herramienta NASA Power la cual nos facilitara la obtención de datos en la zona de nuestro proyecto. Cabe recalcar que los datos serán medidos en W/m^2 y facilitarán el dimensionamiento de nuestro sistema fotovoltaico.

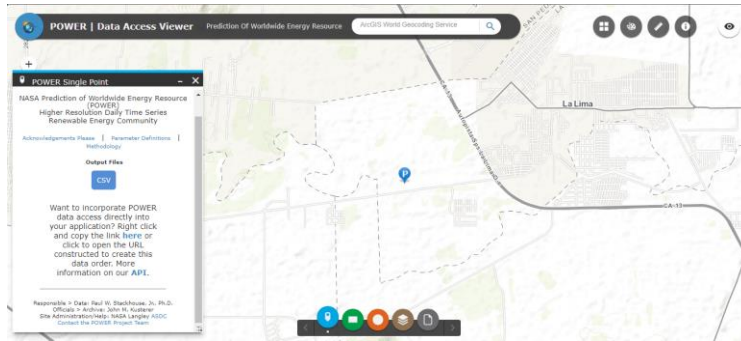


Ilustración 34- Obtención de Datos Meteorológicos en NASA POWER.

Fuente: Elaboración propia utilizando NASA POWER.

4.6.1.4 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

El dimensionamiento se hace con base al tamaño y potencia de nuestro sistema de bombeo, de igual forma se utilizarán los datos técnicos de nuestros módulos fotovoltaicos y RSI de selección debido a que, dependiendo de éstos, podremos dimensionar el tamaño del sistema, dicho dimensionamiento también será realizado con la herramienta Grundfos Product Center.

Para la comprobación del dimensionamiento realizado en el Grundfos Product Center se utilizará el siguiente proceso:

1. A partir de la información obtenida por medio de los datos meteorológicos y de consumo se llegó a calcular el número de módulos fotovoltaicos:

$$\# \text{ de módulos} = \frac{\text{Energía demandada mensual (kWh)}}{\text{Irradiación mensual (kWh/m}^2\text{)} * \text{Cap. Nominal de los módulos (kW)} * PR_{DISEÑO}}$$

Ecuación 2- Cálculo del número de módulos fotovoltaicos.

Fuente: (Nelson Rodríguez, comunicación personal, 8 de agosto de 2022).

2. Estipulada la cantidad de módulos fotovoltaicos e inversores a utilizar, se comienza el diseño de la distribución y número máximo de cadenas para cada inversor con base a las características de cada uno. El cálculo de voltaje se realiza siguiendo parámetros para determinar el voltaje de entrada máximo (V_{max}) y el mínimo (V_{min}) para la puesta en servicio del inversor.

$$V_{\min} = V_{\text{mp@stc}} + (T_{\text{prom}} + T_{\text{rise}} - T_{\text{stc}}) * TC_{\text{pmax}} * \frac{V_{\text{mp}}}{100}$$

$$V_{\max} = V_{\text{oc@stc}} + (T_{\text{min Record}} - T_{\text{stc}}) * TC_{\text{pmax}} * \frac{V_{\text{oc@st}}}{100}$$

Ecuación 3- Cálculo del Voltaje mínimo y Máximo del Inversor.

Fuente: (Nelson Rodríguez, comunicación personal, 8 de agosto de 2022).

3. A su vez se verifica el número máximo de cadenas en paralelo por inversor.

$$\# \text{ máximo cadena en paralelo} = \min \left(\frac{I_{\text{maxEntrada inversor}}}{I_{\text{mp módulo}}}, \frac{I_{\text{max SC inversor}}}{I_{\text{SC módulo}}} \right)$$

Ecuación 4-Cálculo del número del máximo de cadenas en paralelo.

Fuente: (Nelson Rodríguez, comunicación personal, 8 de agosto de 2022).

4. Consiguiente se calcula el número mínimo y el número máximo de cadenas por inversor.

$$\# \text{ mínimo de cadenas} = \frac{V_{\text{inicio(inversor)}}}{V_{\text{mínimo(módulo)}}$$

$$\# \text{ máximo de cadenas} = \frac{V_{\text{max(inversor)}}}{V_{\text{max(módulo)}}$$

Ecuación 5- Cálculo del mínimo y máximo de Módulos Fotovoltaicos por cadena.

Fuente: (Nelson Rodríguez, comunicación personal, 8 de agosto de 2022).

- 5 Por último, se calcula de la relación de potencia DC/AC factor tomado porque no toda la energía que se estará produciendo en DC se transforma a AC, se aconseja que se mantenga entre 1-1.5 para la optimización de recursos.

$$\text{Ratio} \frac{\text{DC}}{\text{AC}} = \frac{\text{Cap. Nominal DC}}{\text{Cap. Nominal AC}}$$

Ecuación 6- Cálculo del mínimo y máximo de Módulos Fotovoltaicos por cadena.

Fuente: (Nelson Rodríguez, comunicación personal, 8 de agosto de 2022).

4.6.1.5 Proyección de la producción de agua potable por medio del equipo Fotovoltaico

Esta proyección se hará en una simulación programada en Excel la cual nos dará un aproximado de la producción de agua por hora solar en la cual podremos observar esta producción en m³/hr.

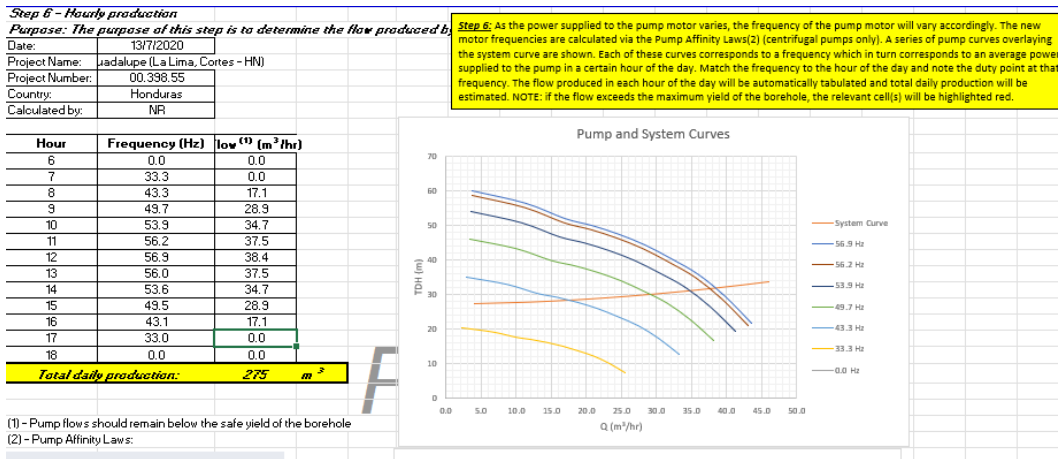


Ilustración 35-Proceso de proyección de producción de agua potable.

Fuente: Elaboración propia en Excel.

4.6.1.6 Cálculo del tamaño sistema de apoyo promedio de generadores diésel

Este sistema de apoyo seleccionará el generador que más se adapte a la aplicación de nuestra investigación y nos sirva como sistema auxiliar para el correcto funcionamiento de nuestro sistema de bombeo. La selección del generador se hará con el apoyo de la herramienta Homer Pro antes mencionada.

4.6.1.7 Dimensionamiento y Simulación del sistema híbrido para la producción de energía

Para evaluar la factibilidad y viabilidad de nuestro proyecto se realizarán simulaciones teóricas con el apoyo del software Homer Pro para poder hacer un análisis de producción de energía y el análisis financiero.

4.6.2 ANÁLISIS ECONÓMICO



Ilustración 36-Metodología de Validación Económica.

Fuente: Elaboración Propia.

4.6.2.1 Análisis del presupuesto o Costo de Capital

Este se realiza tomando todos los costos generales de nuestro sistema como: costos por módulos fotovoltaicos, estructura, inversor, Power Adapter, generador y cables junto con el pedido y transporte de éstos.

Terminamos con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Costo de Capital}[\$] &= \text{Precio total de módulos}[\$] + \text{Precio total de inversor}[\$] \\ &+ \text{Precio total de power adapt}[\$] \dots + \text{precio total del cableado}[\$] \end{aligned}$$

Ecuación 7- Cálculo del Costo de Capital.

Fuente: (Nelson Rodríguez, comunicación personal, 15 de agosto de 2022).

4.6.2.2 Cálculo del costo específico del Capital

Nuestro costo específico se calcula con base: al costo de capital y la potencia instalada de nuestro sistema de producción de energía, basados en esto obtenemos la siguiente fórmula para el cálculo del costo específico del capital:

$$\text{Costo específico de Capital}[\frac{\$}{kWp}] = \frac{\text{Costo de Capital}[\$]}{\text{Potencia instalada}[kWp]}$$

Ecuación 8- Cálculo del Costo de Especifico de Capital.

Fuente: (Nelson Rodríguez, comunicación personal, 15 de agosto de 2022),

4.6.2.3 Cálculo de la producción de energía anual y Autoconsumo

Para el cálculo de la energía producida por nuestro sistema tenemos dos escenarios en los que se estará generado energía los cuales son: por medio del sistema fotovoltaico y el sistema del generador diésel. Se toman en cuenta ambos escenarios y se evaluarán los excedentes en ellos para la obtención del auto consumo.

Con lo anterior establecido nos quedamos con un proceso o pasos a seguir para el cálculo de la energía producida de nuestro sistema híbrido:

1. Para el cálculo de la energía producida por parte de nuestro sistema fotovoltaico en el primer año, establecemos la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Energía Producida}[kWh] \\ = \text{Capacidad Nominal}[kW] * \text{horas de uso}[h] * \text{Relación calidad} * (1 \\ - \text{degradación de módulo fotovoltaico en el primer año}[\%]) \end{aligned}$$

Donde:

- Capacidad Nominal: es el total de energía que puede entregar nuestro sistema. [kW]
- Horas de uso: serán las horas en las que se utilizará nuestro sistema. [h]
- Relación de calidad: es el principal indicador de calidad de la instalación normalmente estipulado en un rango de (0.75-0.80).
- Degradación de Modulo fotovoltaico: está dada por el proveedor en la ficha técnica. [%]

Ecuación 9- Cálculo del Costo de Especifico de Capital.

Fuente: (Nelson Rodríguez, comunicación personal, 15 de agosto de 2022).

2. Para el cálculo de la energía producida por parte de nuestro sistema fotovoltaico en el resto de la vida útil de nuestro proyecto, establecemos la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Energía Producida}[kWh] \\ = \text{Capacidad Nominal}[kW] * \text{horas de uso}[h] * \text{Relación calidad} * (1 \\ - \text{degradación de módulo fotovoltaico después del primer año}[\%]) \end{aligned}$$

Donde:

- Capacidad Nominal: es el total de energía que puede entregar nuestro sistema. [kW]
- Horas de uso: serán las horas en las que se utilizará nuestro sistema. [h]
- Relación de calidad: es el principal indicador de calidad de la instalación normalmente estipulado en un rango de (0.75-0.80).
- Degradación de Modulo fotovoltaico: está dada por el proveedor en la ficha técnica. [%]

Ecuación 10- Cálculo de la Energía producida por el sistema fotovoltaico.

Fuente: (Duke et al., 2021).

3. Luego el cálculo de la energía producida por nuestro generador diésel se realiza bajo la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Energía Producida [kWh]} \\ = \text{Capacidad Nominal} * \text{horas de uso} * (1 \\ - \text{degradación del generador}) \end{aligned}$$

Donde:

- Capacidad Nominal: es el total de energía que puede entregar nuestro sistema [kW]
- Horas de uso: serán las horas en las que se utilizará nuestro sistema. [h]
- Degradación del generador: está dada por el proveedor en la ficha técnica. [%]

Ecuación 11-Cálculo de la Energía producida por el generador diésel.

Fuente: (Duke et al., 2021).

4. Consiguiente para realizar el cálculo de la energía auto consumida utilizamos la siguiente metodología:

$$\text{Autoconsumo}[kWh]: \text{Total de la Energía Producida}[kWh] \\ - (\text{Total de la Energía Producida}[kWh] * \text{Excedentes}[\%])$$

Donde:

- Total de la Energía Producida: es la suma de la energía producida por todos nuestros sistemas de producción de energía. [kWh]
- Excedentes: es la cantidad de energía que no podrá ser utilizada y no se aprovechará para autoconsumo. [%]

Ecuación 12- Cálculo de la Energía utilizada en autoconsumo.

Fuente: ((Duke et al., 2021).

4.6.2.4 Cálculo del Periodo de recuperación, Valor actual neto, El costo nivelado de la energía, el retorno de la inversión Y tasa interna de retorno.

Para el cálculo de estas variables estipularemos las siguientes fórmulas:

- Periodo de Recuperación

$$PRI = \frac{I_0}{F}$$

- PRI= Periodo de recuperación
- I₀= Inversión Inicial
- F= Flujo de caja

Ecuación 13- Cálculo del Periodo de Recuperación.

Fuente: (Nelson Rodríguez, comunicación personal, 15 de agosto de 2022)

- Valor actual neto y Tasa interna de retorno

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \left(\frac{C_n}{(1+r)^n} \right) = 0$$

- I₀= Inversión Inicial
- C_n=Flujo de caja
- N=Número total de periodos

- n= Año en el que se van obteniendo los flujos
- r= Tasa interna de retorno

Ecuación 14- Cálculo del Valor actual neto y Tasa interna de retorno.

Fuente: (Duke et al., 2021)

- El retorno de la inversión

$$ROI = \frac{VAN}{I_o}$$

- VAN= Valor actual neto
- I_o= Inversión inicial

Ecuación 15- Cálculo del retorno de la inversión.

Fuente: (Duke et al., 2021)

- El costo nivelado de la energía

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n I_o + G * (1 - IM) - D * IM}{\sum_{t=1}^n E * (1 - IM)}$$

- I_o=Inversión
- G=Gastos de Operación y Mantenimiento
- D=Depreciación
- E= Energía eléctrica generada
- IM= Impuesto sobre la renta
- n=número de periodos

Ecuación 16- El costo nivelado de la energía.

Fuente: (Duke et al., 2021).

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Introducción, Planteamiento del problema y Marco Teórico	■	■	■							
Metodología				■	■					
Análisis de resultados						■	■			
Resumen, Conclusiones y Recomendaciones								■		
Artículo científico								■	■	■

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este capítulo estará recapitulando todos los resultados obtenidos en los dos análisis hechos en la investigación partiendo desde lo técnico hasta lo económico.

5.1 EVALUACIÓN DE LA DOTACIÓN DE AGUA POR FAMILIA

Con base a las diferentes vistas hechas a la comunidad "Nueva Guadalupe", se seleccionó el tipo de comunidad con base a los factores bajo los cuales ésta puede estar condicionada, la información otorgada por los dirigentes de dicha zona y la zona de ubicación de la comunidad. Los datos de tamaño de la población y promedio de miembros por familia son importantes. Luego de obtener los siguientes datos, se evalúa la dotación de agua promedio por persona. Con base a esto, obtuvimos los siguientes datos:

Tabla 1- Información General de la Comunidad.

Información General de la Comunidad	
Nueva Guadalupe	
Tipo de consumo de la comunidad	Doméstico
Total de familias en la comunidad	200 familias
Tipo de ubicación de la comunidad	Rural
Promedio de miembros por familia	5 personas
Total del tamaño de la población	1,000 personas

Fuentes: Elaboración propia.

En cuanto al tipo de población al cual buscamos suministrar el agua potable, se realizaron diferentes análisis con respecto a la dotación de agua potable para cada persona. Por parte de la definición de Misiones del Agua de Acceso Básico al Agua Segura es que cada individuo debe tener acceso a por lo menos 5.8 L (1.5 galones) de agua segura diariamente. Cuando sea factible, cada individuo debe tener acceso a 13,5 L (3,5 galones) de agua segura todos los días, independientemente de si esa cantidad es utilizada o no.

Tabla 2-Consumo de agua por persona.

Consumo de agua por persona		
Uso de agua por persona por día [litros]*	Uso total de agua	Solo uso de agua segura
Beber y cocinar	25	25
Higiene / Saneamiento	50	0
Productividad (ganadería, riego, construcción, lavandería, etc.)	110	0
Total	185	25

Fuentes: Elaboración propia.

Luego de tener una idea del uso del agua por persona, procedemos a presentar el análisis hecho con respecto a los tres posibles escenarios con respecto a la demanda y el comportamiento de ella, teniendo en cuenta esto se obtuvieron estos resultados:

- Demanda de Agua Segura Actual.

Este cálculo asume que toda la población a servir recolectará la cantidad máxima de agua segura.

Tabla 3-Demanda de Agua Segura Actual.

Demanda de Agua Segura Actual	
25,000.00	Litros para producir por día.
6.5	Horas por día que el sistema producirá agua.
64.10	Producción de litros por minuto.

Fuentes: Elaboración propia.

- Demanda de Agua Anticipada

Aquí en esta zona podemos ver los resultados de las proyecciones hechas en base a la demanda anticipada que se estima en la comunidad tomando en cuenta la penetración prevista de la población.

Tabla 4-Demanda Anticipada.

Demanda Anticipada		
Penetración prevista de la población:	100%	Penetración prevista de la población:
Consumo individual previsto en litros:	190	Consumo individual previsto
Producción prevista en litros:	190,000	Producción prevista
	6.5	Horas por día que el sistema producirá agua
	487.18	Producción de litros por minuto

Fuentes: Elaboración propia.

- Demanda Futura Máxima

En esta sección se realizó un análisis de la demanda de agua máxima al crecimiento de la población esto usando el aproximado tarifas de crecimiento por país.

Tabla 5-Demanda Futura Máxima.

Demanda Futura Máxima		
Tasa de crecimiento anual de la población prevista:	2	% (Tasas aproximadas de crecimiento de la población de Honduras)
Diseño de vida del proyecto:	20	Años (típicamente 20 años)
Población futura para atender por el proyecto:	1,400	Población
Máxima penetración futura en los hogares:	100	% de la población
Consumo máximo individual futuro:	190	Litros por persona por día

Producción futura máxima:	266,000	Litros para producir por día
	9	Horas por día que el sistema producirá agua
	492.59	Producción de litros por minuto

Fuentes: Elaboración propia.

Con base a los resultados obtenidos con anterioridad obtuvimos la demanda general de agua para nuestro proyecto, los cuales son:

Tabla 6-Demanda General.

Demanda General	
493.00	[Lpm] (Nota: esta cifra se usará para diseñar el sistema de bombeo)
9	Horas por día que el sistema producirá agua
266,220	Litros para producir por día
266.22	Litros por persona por día a producir

Fuentes: Elaboración propia.

5.2 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO

Relacionado a la dotación de agua por persona y la demanda de agua en total de la comunidad, se utilizó el apoyo de la herramienta Grundfos Product Center y Excel. Esto debido a su fácil manejo y precisión. Previo al cálculo de la bomba se necesita conocer; una síntesis del diseño y las características del tanque de almacenamiento de agua que tendremos.

- Síntesis del Diseño

Tabla 7-Síntesis de los componentes del Diseño.

Síntesis de los componentes del Diseño	
Fuente de energía	Sistema fotovoltaico y sistema de generador diésel
Fuente de agua	Pozo
Método de extracción de agua	Bomba sumergible
Método de tratamiento de agua	Dosificadora
Método de almacenamiento de agua	Tanque

Fuentes: Elaboración propia.

- Características del Tanque de Almacenamiento

Tabla 8-Características del Tanque de Almacenamiento.

Características del Tanque de Almacenamiento	
Volumen del tanque [litros]	49,205
Razón de uso del tanque	Almacenamiento de Agua
Estado del tanque	Nuevo

Fuentes: Elaboración propia.

Teniendo ya los datos con respecto a la demanda, pasamos a hacer el análisis de nuestras pérdidas al momento de bombear desde el pozo al tanque almacenamiento, previo al cálculo de las pérdidas de nuestro sistema:

Tabla 9-Datos requeridos para el sistema de bombeo.

Datos requeridos para el sistema de bombeo	
Nivel de terreno [m]:	16.0
Nivel dinámico [m]:	43.5
Producción del pozo [m ³ /hr]:	68.0
Caudal de requerido [m ³ /hr]:	33
Caudal de diseño [lpm]:	550
Caudal de diseño [gpm]:	145.3

Fuentes: Elaboración propia.

Con base a los resultados obtenidos con anterioridad, se realizó el respectivo cálculo de las pérdidas de nuestro diseño:

Tabla 10-Perdidas por tramo de nuestro sistema.

Perdidas por tramo de nuestro sistema			
	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
Carga estática [m]	27.5	27.5	27.5
Caudal [m ³ /hr]	33.0	33.0	33.0
Caudal [m ³ /s]	0.009	0.009	0.009
Largo de la tubería [m]	32	16	13
Coefficiente de rugosidad [-]	135	135	120
Diámetro interno de la tubería [mm]	77.3	77.3	77.3
Diámetro interno de la tubería (m)	0.08	0.08	0.08
Velocidad [m/s]	2.0	2.0	2.0
Rmax [-]	10,157	5,078	4,933
Rmin [-]	0	0	0
Perdida [m]	1.73	0.86	0.84
Nivel dinámico [m]	29.2	30.1	30.9

Fuentes: Elaboración propia.

Basados en los cálculos de pérdidas y en los datos de referencia obtenidos, se obtuvieron los datos del punto de servicio de diseño de nuestro sistema de bombeo.

Tabla 11-Punto de servicio de diseño.

Punto de servicio de diseño	
Caudal de diseño (m ³ /hr):	34.0
Nivel dinámico (m):	30.9

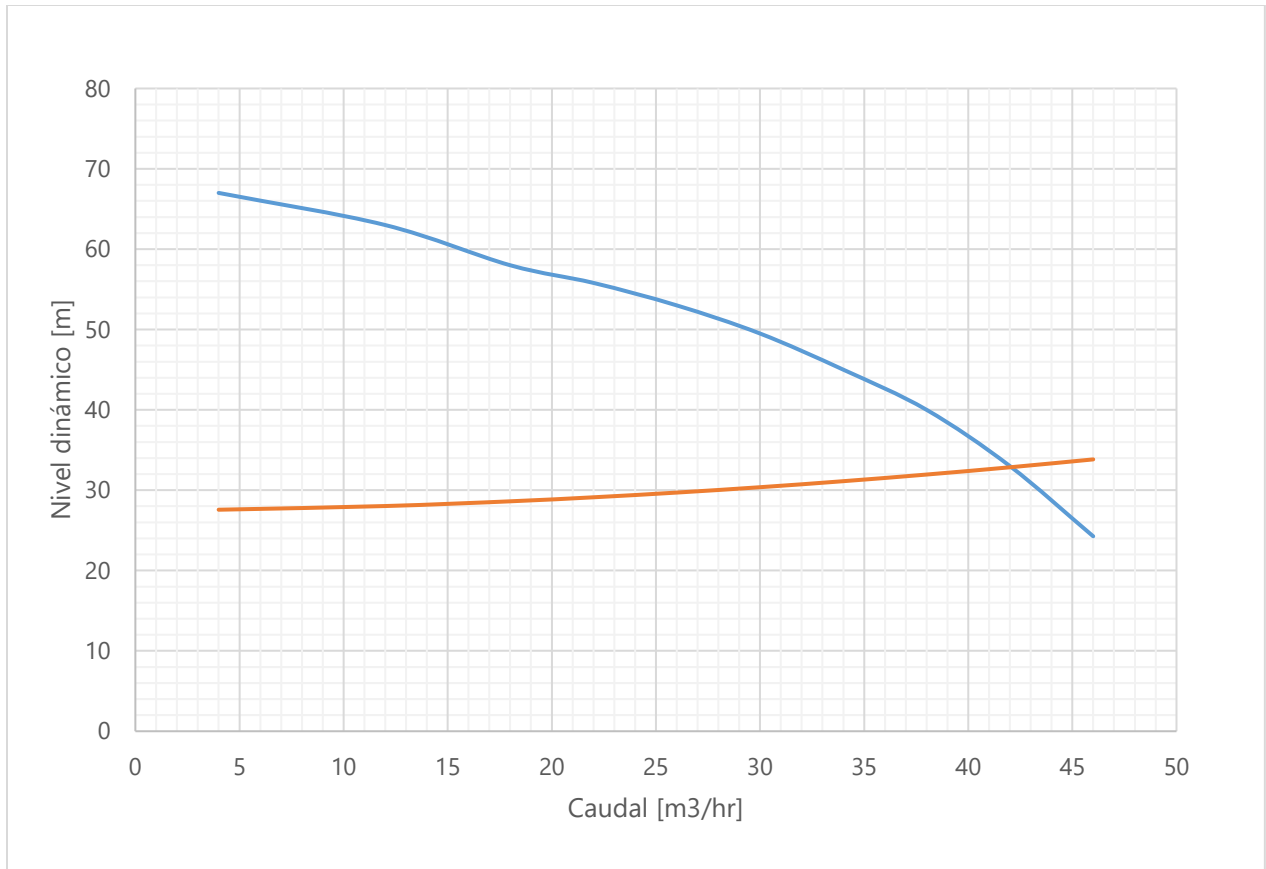
Fuentes: Elaboración propia.

Con relación al punto de servicio de diseño, se procedió a seleccionar y dimensionar el equipo de bombeo adecuado para éste. Siguiendo un desglose de la bomba seleccionada y sus características:

Tabla 12- Descripción general de la bomba.

Descripción general de la bomba	
Bomba seleccionada (fabricante, número de producto):	Grundfos 150S75-4
Frecuencia nominal del motor [Hz]:	60
Fase de motor:	3
Tensión nominal del motor [VAC]:	230
Caudal [m ³ /hr]:	42.1
Nivel dinámico [m]:	32.9
Eficiencia de la bomba [%]	70%
Eficiencia del motor [%]:	82%
Potencia de la bomba [kW]:	5.5
Consumo de corriente del motor [A]:	20.1

Fuentes: Elaboración propia.

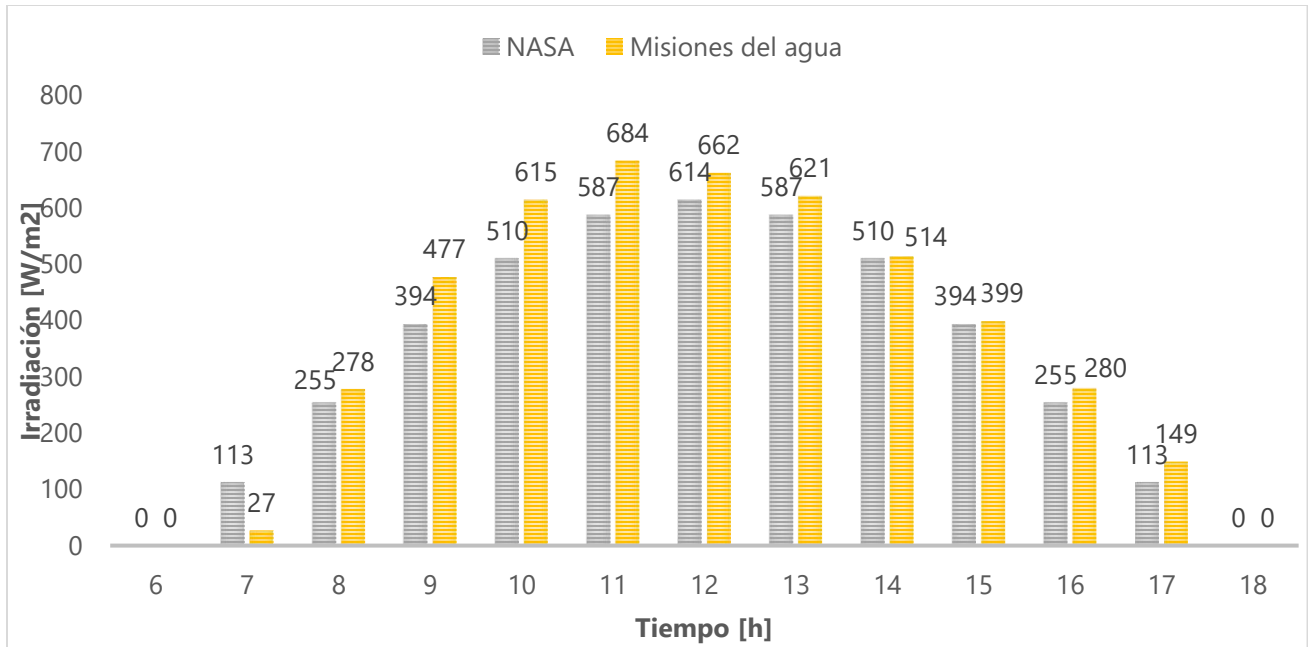


Gráfica 1- Curva de la bomba (del fabricante, velocidad máxima).

Fuentes: Elaboración propia.

5.3 DATOS DE RADIACIÓN EN ZONA

Consiguiente, se realizó la recopilación de los datos obtenidos de radiación en la zona donde se encuentra ubicada la comunidad de nuestro proyecto. Para el análisis, se realizó un pequeña comparativa de los datos que tenía la ONG Misiones del Agua con los datos obtenidos por la NASA Power lo cual nos dio como resultado:



Gráfica 2- Irradiación promedio diaria.

Fuentes: Elaboración propia.

Tabla 13-Resumen de los resultados de Datos meteorológicos.

Resumen de los resultados			
	Mes de Irradiación	Baja Mes de promedio	Irradiación Unidad
Total de irradiación	4.33	4.61	kWh/m ² /día
Min Temp	23.7	24.4	C°
Max Temp	32.17	32.87	C°
Luz del día:	11.8	12.1	horas

5.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

En dimensionamiento del sistema del sistema fotovoltaico se utilizaron diferentes factores para iniciar el cálculo del dimensionamiento. Estipulados estos factores que veremos a continuación, se inició el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Tabla 14- Parámetros iniciales previo al dimensionamiento.

Parámetros iniciales previo al dimensionamiento	
Irradiación promedio	4.33[kWh/m ²] (Nota: se utiliza la irradiación del mes en la que es más baja)
Horas de uso al día	6.5[h]
Potencia del equipo	5.5 [kW]
Performance Ratio	0.80

Fuente: Elaboración propia.

Previo a los cálculos para el dimensionamiento, se seleccionaron los componentes que se utilizarán para nuestro sistema fotovoltaico, siguiente un desglose de las especificaciones de nuestros módulos e inversor a utilizar:

Tabla 15- Un desglose de las especificaciones del módulo fotovoltaico.

Un desglose de las especificaciones del módulo fotovoltaico		
Artículo	Valor	Unidad
Potencia nominal del módulo fotovoltaico	350	Watts
Tensión del punto de máxima potencia, [Vmpp]	42.8	V
Corriente del punto de máxima potencia, [Impp]	9.1	A
Tensión de corriente abierta, [Voc]	51.5	V
Corriente de cortocircuito, [Isc]	8.6	A
Coeficiente de temperatura [@ Voc]	0.0	% / °C
Temperatura normal de funcionamiento de la célula, [NOCT]	46.0	°C
Longitud del panel	1675.0	mm
Anchura del panel	1001.0	mm
Eficiencia del conjunto (cableado, suciedad, conexiones, etc.)	85%	%
Eficiencia de la conversión CC-CA del inversor	95%	%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16- Un desglose de las especificaciones del Inversor.

Un desglose de las especificaciones del Inversor	
Inversor seleccionado:	Grundfos RSI
Potencia nominal del inversor [kW]:	7.5
Tensión nominal de salida del inversor [VAC]:	230
Corriente de salida máxima del inversor [A]	31.8
Tensión de entrada mínima del inversor [VDC]:	220
Tensión de entrada máxima del inversor [VCC]:	400

Fuente: Elaboración propia.

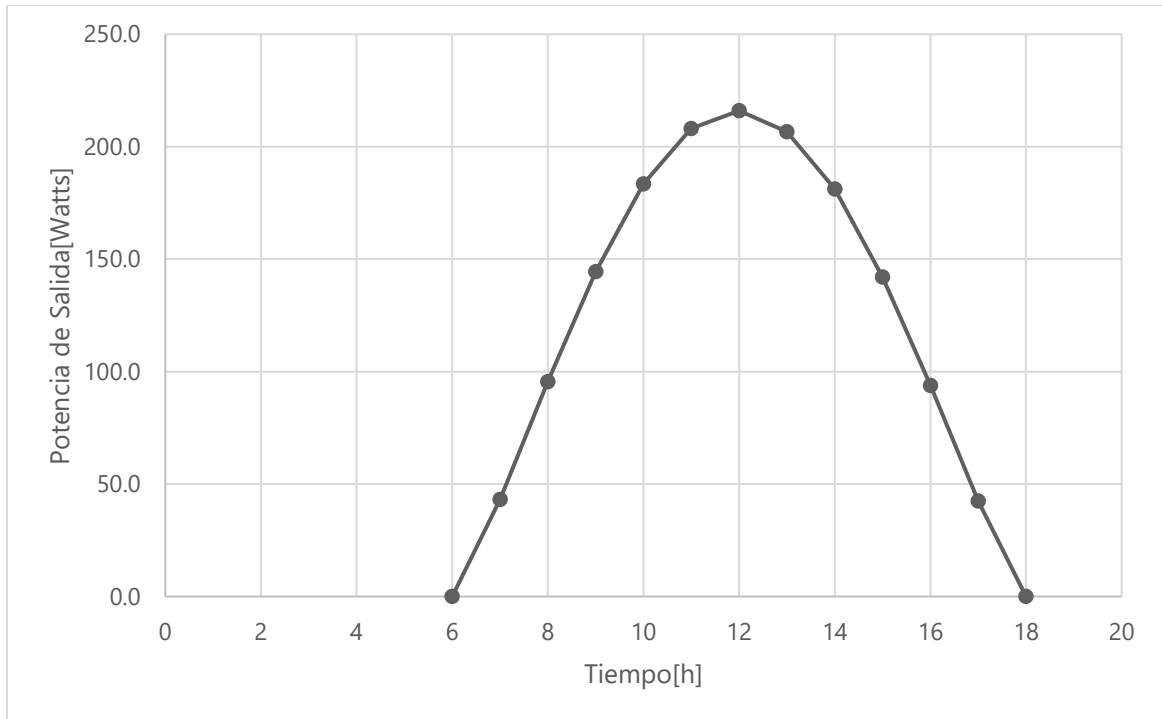
Consiguiente a los parámetros iniciales, se calculó la cantidad de módulos, posterior a esto se selección el RSI que se adaptara más a nuestra aplicación (Referirse a ecuaciones 1- 4):

Tabla 17- Síntesis del sistema fotovoltaico.

Síntesis del sistema fotovoltaico	
Cantidad módulos	32
Capacidad Nominal DC	11.2 [kWp]
Cantidad de Inversores	1
Capacidad Nominal AC	7.5 [kW]
Ratio DC/AC	1.49
Irradiancia del Mes de diseño	Baja irradiancia
Número de módulos en serie	8
Número de cadenas paralelas en el conjunto	4

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo la configuración del conjunto fotovoltaico que hará que la bomba funcione a su máxima frecuencia al mediodía durante el mes de baja irradiación. Se evaluó en esta sección el rendimiento en condiciones de irradiación media anual para asegurarse de que se ha seleccionado el inversor correcto. Siguiendo una proyección del funcionamiento de los módulos:

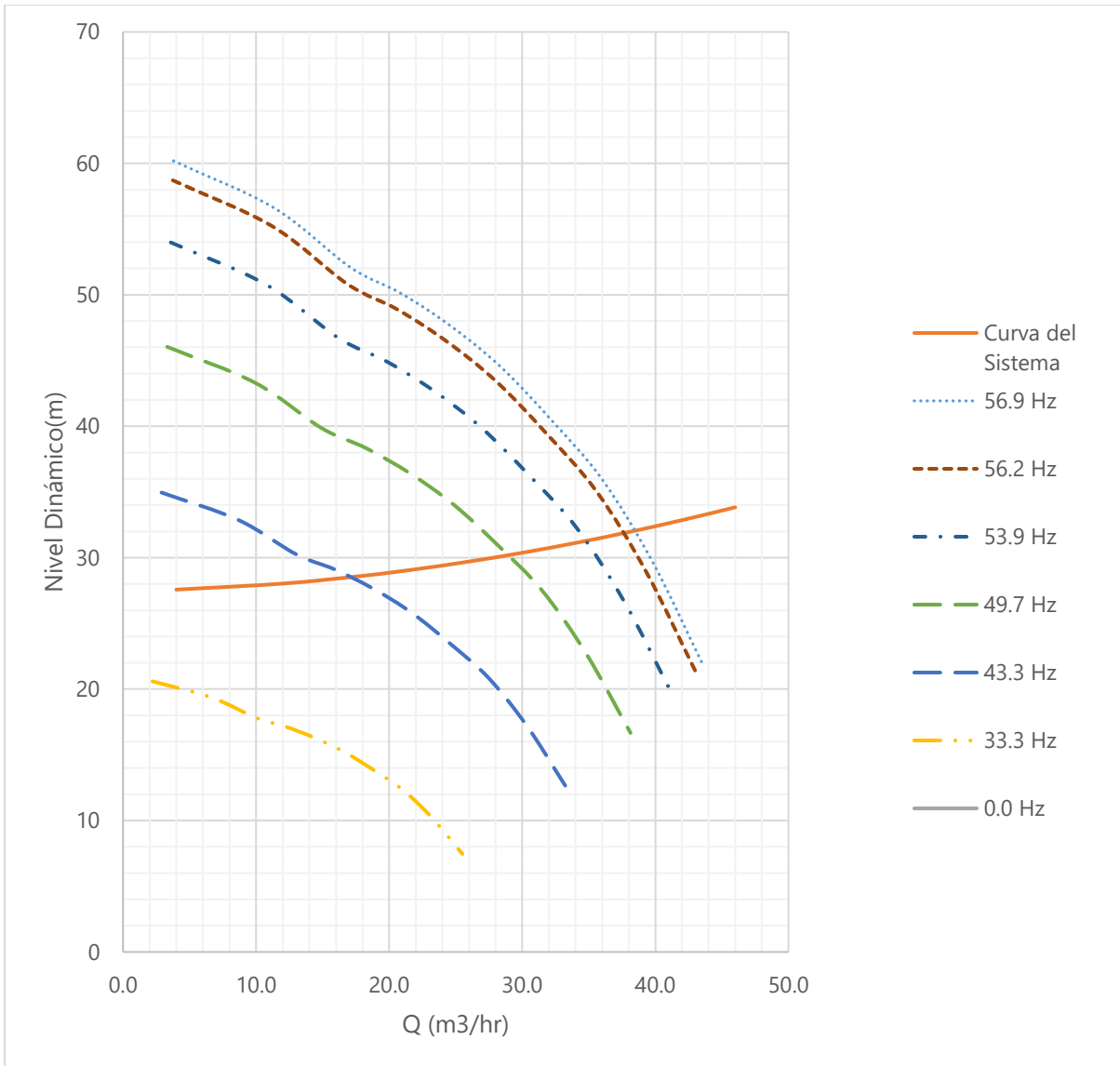


Gráfica 3- Potencia de salida de un Módulo.

Fuente: Elaboración propia.

5.5 PROYECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE

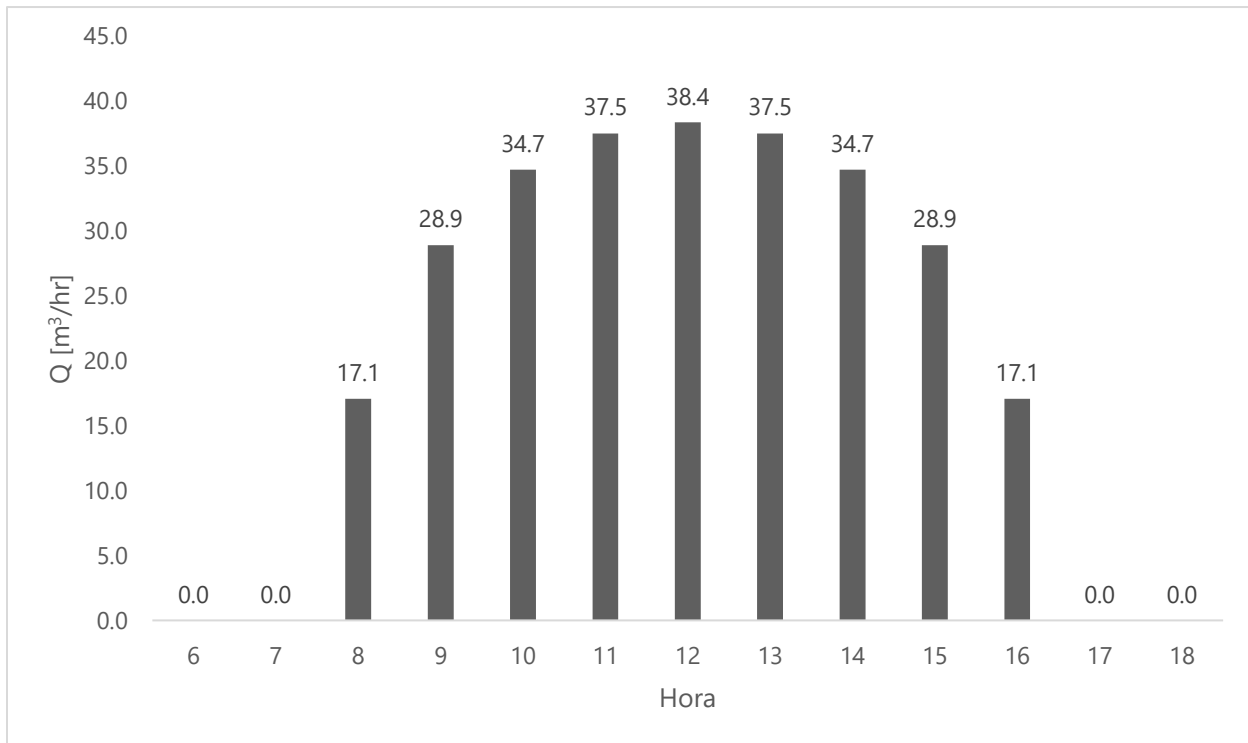
Al variar la potencia suministrada al motor de la bomba, la frecuencia del motor de la bomba variará en consecuencia. Las nuevas frecuencias del motor se calculan mediante las leyes de afinidad de la bomba (sólo bombas centrífugas). Se muestra una serie de curvas de la bomba superpuestas a la curva del sistema. Cada una de estas curvas corresponde a una frecuencia que, a su vez, corresponde a una potencia media suministrada a la bomba en una hora determinada del día. Siguiendo un gráfico 0 que representa esta variación:



Gráfica 4- Curvas de la bomba y el sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Con base esto, se calculó un estimado de la producción de agua por hora dependiendo de la frecuencia se entregue al sistema en dicha hora, lo cual nos da la siguiente gráfica:



Gráfica 5- Producción diaria de agua potable por hora.

Fuente: Elaboración propia.

5.6 SELECCIÓN DEL TAMAÑO SISTEMA DE GENERADORES DIÉSEL

La selección del equipo de generador diésel se realizó con base a la carga de nuestro sistema siendo en este caso los 5.5 kW, para satisfacer esta demanda, a razón de esto se seleccionó un generador con las siguientes características:

Tabla 18- Características del generador diésel seleccionado.

Características del generador diésel seleccionado	
Modelo del Generador	Perkins 403A-11G1
Potencia típica Salida (neta) Prime	9.0 [kVA]/7.2[kW]
Potencia típica Salida (neta) Standby	9.9 [kVA]/7.9kW]
Velocidad	1500[rpm]

Consumo de combustible

Standby	3.6[l/hr]
Prime	3.0[l/hr]
75% of prime power	2.3 [l/hr]
50% of prime power	1.7[l/hr]

Fuente: Elaboración propia.

5.7 SIMULACIÓN DEL SISTEMA HÍBRIDO PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

Esta simulación se hizo con el propósito de analizar la producción energética de nuestro sistema híbrido, esto siendo resultados que nos apoyaron al momento de realizar el respectivo análisis financiero de este sistema.

Tabla 19- Datos obtenidos de simulación en Homer Pro.

Datos obtenidos de simulación en Homer Pro		
Producción energética por sistema		
Tipo de Sistema	kWh/año	%
Sistema Fotovoltaico	16,893[kWh/año]	59.3[%]
Sistema del Generador Diesel	11,571[kWh/año]	40.7[%]
Total	28,465[kWh/año]	100[%]
Consumo de energía		
Consumo total	18,068 [kWh/año]	100[%]
Exceso de Electricidad	10,126 [kWh/año]	35.6[%]
Otros		
Fracción Renovable	36.0 [%]	

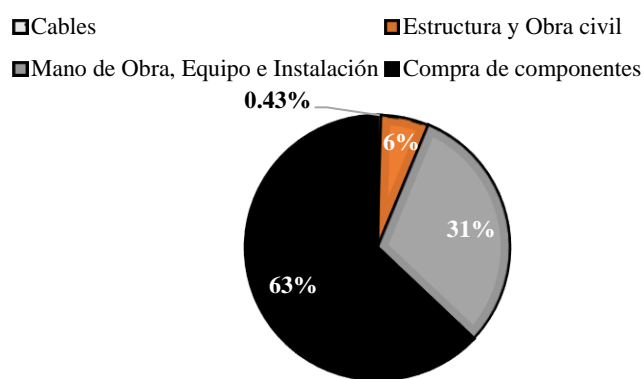
Fuente: Elaboración propia.

5.8 ANÁLISIS TÉCNICO

Para el análisis de la prefactibilidad técnica se comprobó que el diseño establecido a lo largo de nuestra investigación fue ideal para evaluar la prefactibilidad técnica de la aplicación de un sistema híbrido para suministrar la energía. Con los cálculos realizados a lo largo, se empezaron a obtener resultados positivos en lo que es la semana 5, se realizó el dimensionamiento del sistema de bombeo y consecuente, se realizó con base a la demanda energética de este sistema el dimensionamiento de nuestro sistema de suministro de energía híbrido. Basados en los cálculos realizados, se logró escoger el equipo y componentes adecuados para satisfacer la demanda energética; a su vez mediante la simulación en Homer Pro, se comprobó que el sistema lograra satisfacer esta demanda exigida del sistema de bombeo.

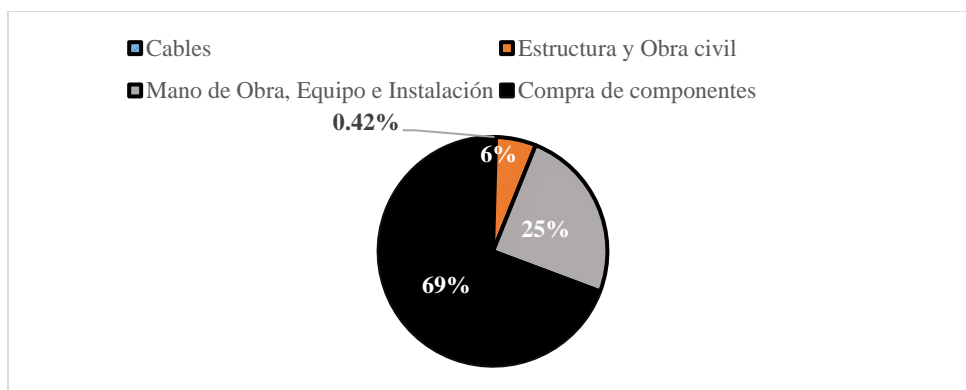
5.9 ANÁLISIS DEL PRESUPUESTO O COSTO DE CAPITAL

Para el análisis de nuestro presupuesto, tomamos en cuenta los que fueron la compra de los componentes de nuestro sistema, mano de obra, equipo necesario e instalación, estructura, obra civil y cables. Continuación un desglose de cómo se reparte nuestro presupuesto por cada área, aclarando que este análisis se realizó para ambos escenarios tanto para el sistema solo con la parte fotovoltaica y para el sistema híbrido.



Gráfica 6- Porcentaje de Costos por Área Sistema fotovoltaico.

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 7- Porcentaje de Costos por Área Sistema Híbrido.

Fuente: Elaboración propia.

Con base al desglose anterior de resultados obtuvimos los siguientes resultados, los cuales reflejan la inversión total que representa nuestro costo de capital para el análisis financiero correspondiente de nuestros escenarios antes mencionados.

Tabla 20- Resumen del Presupuesto.

	Resumen del Presupuesto	
	Sistema Fotovoltaico	Sistema híbrido
Total de la Inversión Inicial	\$ 20,548.36	\$ 26,740.87
Costo específico de capital [\$/kWp]	1,834.67	1,429.99

Fuente: Elaboración propia.

5.10 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ANUAL Y AUTOCONSUMO

Se evaluó la producción de energía anual de cada sistema, debido a que, con base a estos resultados, se realizó un análisis exhaustivo de cuánta energía es que el sistema está entregando directamente a la demanda y cuánta de esta energía eléctrica no se estará aprovechando, volviéndose así excedentes; los cuales se le restaron a esta producción, obteniendo así un escenario más realista de la energía que se estará auto consumiendo y ahorrando. Consiguiente un desglose de los resultados obtenidos con respecto al auto consumo y el ingreso bruto. Aclarando que el porcentaje de excedentes utilizado será el obtenido en la simulación Homer Pro. (Referirse a Tabla 19).

Tabla 21- Producción y Autoconsumo de la energía eléctrica.

Producción y Autoconsumo de la energía eléctrica en el primer año					
Sistema	Energía generada [kWh]	Excedentes [kWh]	Autoconsumo [kWh]	Tarifa eléctrica [\$/kWh]	Ingresos brutos [\$]
Fotovoltaico	27,042.12	10,816.85	16,225.27	0.24	3,894.07
Híbrido	26,706.41	5,747.32	20,959.09	0.24	5,030.18

Producción y Autoconsumo de la energía eléctrica en el año 20					
Sistema	Energía generada [kWh]	Excedentes [kWh]	Autoconsumo [kWh]	Tarifa eléctrica [\$/kWh]	Ingresos brutos [\$]
Fotovoltaico	24,351.84	8,766.66	15,585.17	0.24	3,894.07
Híbrido	24,609.73	5,175.54	19,434.18	0.24	5,030.18

Fuente: Elaboración propia.

5.11 PERIODO DE RECUPERACIÓN, VAN, LCOE, ROI Y TIR

Por último, se realizó el cálculo de recuperación, el valor actual neto, el retorno de la inversión y la tasa de esta misma lo cual ayudó a saber si nuestro proyecto además de ser factible técnicamente lo es económicamente. Dicho esto, podemos ver los resultados obtenidos para cada escenario en cuestión. Aclarando que este análisis es con base a la vida útil del sistema híbrido.

Tabla 22- Síntesis del análisis financiero Sistema Fotovoltaico.

	Síntesis del análisis financiero Sistema Fotovoltaico	
	Sin financiamiento	Con financiamiento
Periodo de recuperación de la inversión [años]	5.65	4.36
Valor actual neto (VAN) [\$]	18,433.13	18,433.13
Tasa interna de retorno (TIR) [%]	17.70%	27%
Retorno de la inversión (ROI) [%]	89.71%	299.02%
LCOE [\$/kWh]	0.0697	0.1275

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23- Síntesis del análisis financiero Sistema híbrido.

	Síntesis del análisis financiero	
	Sistema híbrido	
	Sin financiamiento	Con financiamiento
Periodo de recuperación de la inversión [años]	6.60	6.68
Valor actual neto (VAN) [\$]	15,842.18	15,842.18
Tasa interna de retorno (TIR) [%]	14.60%	20%
Retorno de la inversión (ROI) [%]	58.00%	193.34%
LCOE [\$/kWh]	0.1076	0.1566

Fuente: Elaboración propia.

5.12 ANÁLISIS ECONÓMICO

Consiguiente se presentarán el análisis de los resultados obtenidos en nuestro análisis económico. En dicho análisis, se realizó la comparación de dos escenarios: uno en el cual nuestro sistema de bombeo se alimentará por un sistema de suministro de energía híbrido; y otro, en escenario en el cual el sistema de suministro de energía sea solo a base de energía fotovoltaica. Los resultados del análisis económico se empezaron a obtener desde semana 6. Con ciertos arreglos y mejoras de nuestro análisis se obtuvieron resultados positivos a partir de semana 7, mediante los resultados obtenidos de nuestra simulación y dimensionamiento. A pesar de que el sistema híbrido en comparación con el sistema fotovoltaico tiene una mayor tasa interna de retorno, se comprobó que el sistema híbrido de producción energía, además de lograr satisfacer la demanda energética, éste se recupera dentro del rango de los 20 años; el cual es la vida útil del sistema de bombeo y tiene una tasa interna del retorno de la inversión aceptable y factible para este tipo de proyectos. Además, con base a estos resultados, la investigación logro observar como al principio ambos sistemas logran satisfacer la demanda energética del equipo de bombeo; pero ya para el año 20, el sistema fotovoltaico se va quedando corto con respecto a la satisfacción de esta demanda lo que nos deja con el sistema híbrido como la mejor alternativa a largo plazo, tomando en cuenta que esta demanda crecerá con el pasar de los años.

VI. CONCLUSIONES

Se planteo la implementación de un sistema híbrido para la producción de energía para un sistema de bombeo, esto con la intención de evaluar la factibilidad y viabilidad de satisfacer la demanda energética del sistema de bombeo en la comunidad de Nueva Guadalupe, en La Lima, Cortés. El estudio previo se realizó con respecto a la demanda anticipada y futura, a la cual se enfrentará el sistema de bombeo. Se logró dimensionar un sistema que logra satisfacer esta demanda a lo largo de su vida útil, sosteniendo así el confort de la comunidad. Con respecto a nuestro sistema híbrido de producción de energía eléctrica para el año 20, que corresponde la vida útil límite de nuestro sistema de bombeo, éste se mantiene y logra satisfacer la demanda energética, probando una mayor factibilidad tecno-económica a lo largo de toda la vida útil del sistema híbrido, sobreponiéndose al sistema fotovoltaico. Posterior se encontraron los siguientes resultados y conclusiones:

1. Se rechaza la hipótesis nula, ya que el sistema híbrido presenta una TIR de un 20% con financiamiento.
2. Con base a la muestra calculada, se determinó que la demanda futura de agua por persona al día es de 266.22 litros.
3. Se recomienda la aplicación de un sistema híbridos con un LCOE menor a la tarifa eléctrica.
4. El costo nivelado de electricidad es de 0.1566 [\$/kWh], el cual está por debajo de la tarifa actual
5. Con respecto a las 9 horas de funcionamiento de nuestro sistema, se obtiene que nuestro con autoconsumo será de 78.97% para el año 20 de nuestro proyecto

Dentro de la investigación en cuestión, encontramos ciertas limitaciones; siendo la primera de éstas la necesidad de entrevistar a cierta cantidad de familias pertenecientes a la comunidad para un mejor estudio con respecto a la demanda de agua potable que ésta tiene. Igualmente, se presentó la importancia de conocer la fuente de agua que tiene la comunidad, ya que con esto se dimensiona el sistema de bombeo adecuado para el tipo de fuente que se presente. Consecuentemente es necesario mantener el confort de la comunidad con respecto al suministro de agua potable, evaluando esto en el dimensionamiento del sistema de bombeo. Por último, se

debe mantener la demanda energética de nuestro sistema de bombeo a lo largo de su vida útil, manteniendo así la producción de agua estable a lo largo de esta vida útil.

Se plantea o espera que el proyecto sea utilizado con el fin de impulsar la creación de sistemas híbridos para el suministro de energía eléctrica en diferentes. Se busca la eficiencia de los sistemas de energías renovables convencionales mediante la combinación de varios sistemas y sin la necesidad de generar gran complejidad, esto con base al apoyo de la tecnología RSI y PowerAdapt, mejorando de esta manera el dimensionamiento de estos con estudios más a profundidad del ahorro energético que este tipo de proyecto brindaría.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar un sistema híbrido creado por medio de la tecnología del RSI y PowerAdapt Grundfos para un sistema de bombeo.
- Se recomienda realizar un análisis más específico del consumo proyectado de la demanda de agua, esto con el fin crear una proyección más exhaustiva.
- Se recomienda la aplicación de un sistema híbridos con un LCOE menor a la tarifa eléctrica.
- Se recomienda utilizar alguna tecnología de almacenamiento de energía, para el aprovechamiento de la energía que no es auto consumida.

VIII. APLICABILIDAD

Esperando que esta investigación se pueda utilizar como referencia para otros estudios de las diferentes aplicaciones de los sistemas híbridos completándose con la tecnología RSI y Poweradapt. Probando la viabilidad técnica y económica de esta investigación se plantea que ésta sirva de referencia e inspiración para futuros proyectos, contribuyendo hasta cierto punto con la reducción del impacto ambiental que pueden llegar a tener los sistemas de producción de energía convencionales.

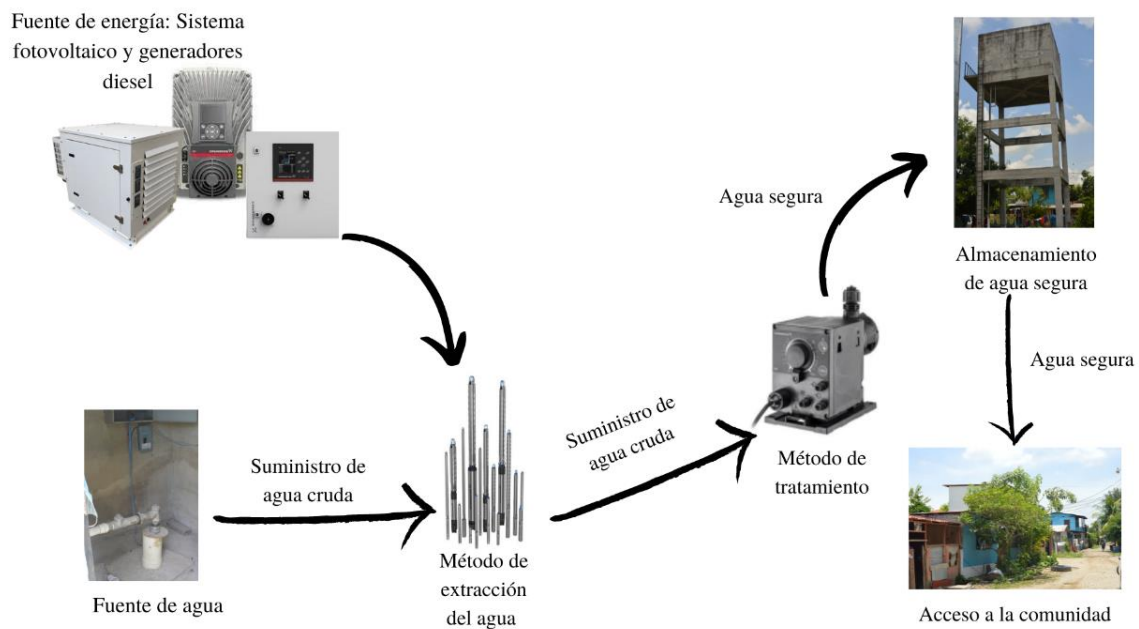


Ilustración 37-Aplicabilidad de la tecnología

IX. BIBLIOGRAFÍA

Dirección Ejecutiva de Gestión de Tecnología, U. N. A. H. (2019, April 11). *Enee, UN Monopolio Sumido en severa crisis financiera*. Presencia Universitaria. Retrieved August 5, 2022, from <https://presencia.unah.edu.hn/archivo/2019/enee-un-monopolio-en-severa-crisis/>

IRENA, C. (2021, March 31). *Renewable capacity highlights - IRENA – international renewable*. Renewable capacity highlights. Retrieved August 4, 2022, from [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA - RE Capacity Highlights 2021.pdf?la=en&hash=1E133689564BC40C2392E85026F71A0D7A9C0B](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2021.pdf?la=en&hash=1E133689564BC40C2392E85026F71A0D7A9C0B)
91

Suri, M. (2020, July 1). *Global Photovoltaic Power Potential by country*. World Bank. Retrieved August 3, 2022, from <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/466331592817725242/global-photovoltaic-power-potential-by-country>

Asociación Nacional, D. G. (2018). *Comparativo de Tarifas Centroamericanas*. ANG. Retrieved August 4, 2022, from <https://ang.org.gt/comparativo-de-tarifas-centroamericanas/>

Carmona Rafael Pérez. (2010). *Instalaciones Hidrosanitarias y de gas para instalaciones (6A. ed.) (6th ed.)*. Ecoe Ediciones.

Municipal, A. (2015). La Lima. La Lima | ATLAS MUNICIPAL. Retrieved July 27, 2022, from <http://www.inparsa.net/atlas/?q=node%2F84>

Roux, R. S. (2014, May 28). *Instalaciones hidráulicas, sanitarias y de gas*. Academia.edu. Retrieved July 24, 2022, from https://www.academia.edu/6672822/INSTALACIONES_HIDR%C3%81ULICAS_SANITARIAS_Y_DE_GAS

Arkiplus. (2012, December 4). *Abastecimiento de Agua Por Gravedad*. Portal de arquitectura ARQHYS . Retrieved July 24, 2022, from <https://www.arqhys.com/construccion/abastecimiento-agua-gravedad.html>

Castañeda Santiago Arnalich. (2008). *Cómo diseñar un sistema de agua por gravedad*. Santiago Arnalich Castañeda.

Honduras, X. (2021, October 23). La Lima Cortes: Ciudad de la lima honduras. XplorHonduras Honduras. Retrieved July 24, 2022, from <https://www.xplorhonduras.com/ciudad-de-la-lima/>

Mejía, S. (2017, January 1). Diseño y Fabricación de un Sistema hidráulico de presión constante. Academia.edu. Retrieved July 24, 2022, from https://www.academia.edu/es/71954318/Dise%C3%B1o_y_fabricaci%C3%B3n_de_un_sistema_hidr%C3%A1ulico_de_presi%C3%B3n_constante

Pazv, E. E. S. (2015, August 10). Dimensionamiento de bombas para la extracción de agua. Academia.edu. Retrieved July 24, 2022, from https://www.academia.edu/14830821/30140786_dimensionamiento_de_bombas_para_la_extraccion_de_agua

Çengel Yunus A., & Cimbala, J. M. (2018). Capítulo 8 Flujo en Tuberías. In *Mecánica de fluidos: Fundamentos Y Aplicaciones* (4th ed., pp. 349–360). essay, McGraw-Hill.

Stuhlmacher, A., & Mathieu, J. (2020, July 16). Chance-constrained water pumping to manage water and power demand uncertainty in Distribution Networks. IEEE Xplore. Retrieved July 27, 2022, from <https://ieeexplore.ieee.org/document/9118939>

Valarezo, P. A. (2018, December). Caracterización de la Curva de Consumo Diario de la Red de Agua potable. CARACTERIZACIÓN DE LA CURVA DE CONSUMO DIARIO DE LA RED DE AGUA POTABLE DEL SECTOR PISHILATA I DEL CANTÓN AMBATO. Retrieved July 27, 2022, from <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29307/1/Tesis%201299%20-%20Valarezo%20Palacios%20Paola%20Alejandra.pdf>

Zeng, M., & Song, Y. (2018). *Water demand forecasting in Qinzhou, China*. INFONA. Retrieved July 27, 2022, from <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.ieee-art-000005893123>

Pérez, L. R. (2016). Tanque de Almacenamiento. Retrieved July 30, 2022, from <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/tanque-de-almacenamiento>

Li, G., & Huang, W. (2010, August 26). *Level control system of double-hold water tank based on inverse system method and PID*. IEEE Xplore. Retrieved July 30, 2022, from <https://ieeexplore.ieee.org/document/5590678/>

Nieto, G. (2022, January 8). *Sistemas Híbridos de Energía Alternativa*. Publicar artículos. Retrieved July 30, 2022, from <https://articulo.tv/18015-sistemas-hibridos-energia-alternativa>

Desigenia. (2017, January 16). *¿Qué son los Sistemas de Energía Híbrida?* Desigenia. Retrieved July 30, 2022, from <https://desigenia.com/sistemas-de-energia-hibrida/>

Calderón, G. (2018, December 2). *Energía Térmica: Qué Es, características, para qué sirve, cómo funciona, Ventajas*. Euston96. Retrieved July 30, 2022, from <https://www.euston96.com/energia-termica/>

Planas, O. (2017, March 19). *Encodi*. Energía nuclear. Retrieved July 31, 2022, from <https://energia-nuclear.net/energia/energia-electrica/generacion-electricidad/generador-electrico>

Rojas, D., Rivera, M., & Wheeler, P. (2021, December 6). *Basic principles of solar energy*. IEEE Xplore. Retrieved July 31, 2022, from <https://ieeexplore.ieee.org/document/9703066/>

Yi, L., Bing-xi, L., Yi, Z., Zhong-bin, F., & Xin-hai, Y. (2009, December 28). *Study on hybrid solar energy and ground-source heat pump system*. IEEE Xplore. Retrieved July 31, 2022, from <https://ieeexplore.ieee.org/document/5366540>

Barbatunde, E. B. (2012). *Solar radiation*. InTech.

Navntoft, C. (2017, April). *TECNOLOGÍAS ECONÓMICAS PARA LA DESINFECCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN DE AGUA, AVANCES EN ARGENTINA*. ResearchGate. Retrieved July 31, 2022, from https://www.researchgate.net/publication/316379603_TECNOLOGIAS_ECONOMICAS_PARA_LA_DESINFECCION_Y_DESCONTAMINACION_DE_AGUA_AVANCES_EN_ARGENTINA

Grundfos, C. (2020). *PowerAdapt - Grundfos*. Grundfos. Retrieved August 1, 2022, from <https://api.grundfos.com/literature/Grundfosliterature-6512009.pdf>

Grundfos, C. (2020). *RSI*. Grundfos. Retrieved July 31, 2022, from <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjD2rferKT5AhU0tYQIHQDTDIkQFnoECAYQAAQ&url=https%3A%2F%2Fapi.grundfos.com%2Fliterature%2FGrundfosliterature-5207327.pdf&usg=AOvVaw2cHPC5bVIWoVVllmKVOpgB>

Duke, A. M. R., Rodriguez, D. T., & Ruiz, A. A. (2021, September 1). Case study: Cost-benefit of photovoltaic solar installations connected to the electricity grid for a high-consumption business in Santa Barbara, Honduras: 2021 6th International Conference on Cloud Computing and internet of things. ACM Other conferences. Retrieved August 7, 2022, from <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3493287.3493299>

Pro, H. (2017, August). *Homer*. Levelized Cost of Energy. Retrieved August 15, 2022, from https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.14/levelized_cost_of_energy.html

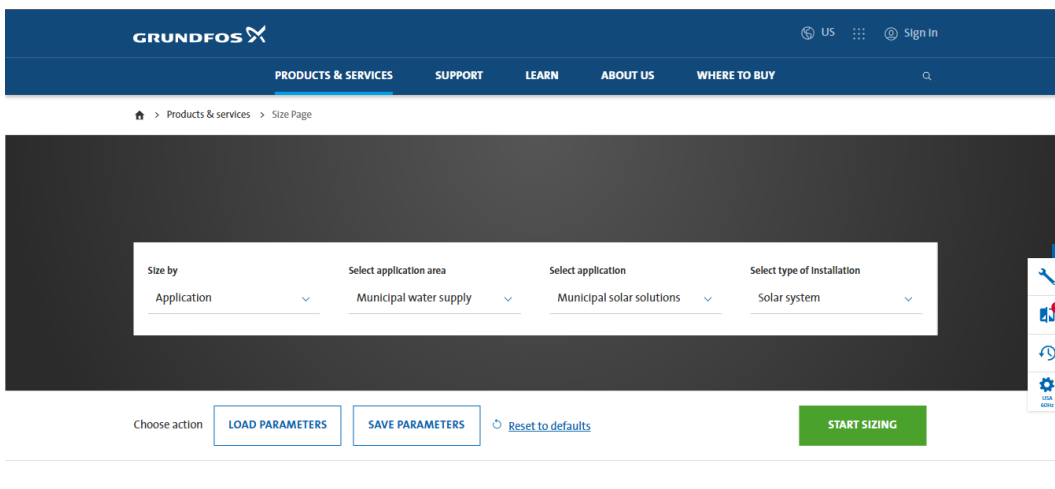
Pro, H. (2017, August). *Homer pro 3.15*. Return On Investment. Retrieved August 15, 2022, from https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/return_on_investment.html

X. ANEXOS

Anexo 1- Base de Datos de Excel para el proceso de dimensionamiento del equipo de bombeo

Step 2 - Pipe system											
<i>Purpose: The purpose of this step is to create a system curve.</i>											
NOTE: ALL INPUTS ARE TO BE ENTERED IN THE CELLS SHADED LIGHT BLUE.											
Date:	13/7/2020										
Project Name:	Cuadalupe (La Lima, Cortes - HN)										
Project Number:	00.398.55										
Country:	Honduras										
Calculated by:	NFR										
Minimum source water elevation (m):	16.0	Nivel de terreno									
Maximum final water elevation (m):	43.5	Nivel dinamico									
Safe yield of source (m ³ /hr):	68.0	produccion del pozo									
Design flow (m ³ /hr):	34.1	caudal requerido									
Design flow (LPM):	567.7										
Design flow (GPM):	150.0										
	Pipe 1	Pipe 2	Pipe 3	Pipe 4	Pipe 5	Pipe 6	Pipe 7	Pipe 8	Pipe 9	Pipe 10	Treatment
Static head (m)	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5
Flow (m ³ /hr)	34.1	34.1	34.1	34.1	34.1	34.1	34.1	34.1	34.1	34.1	34.1
Flow (m ³ /s)	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
Pipe length (m)	32	16	13								
Pipe C-factor (-)	135	135	120								
Pipe internal diameter (mm)	77.3	77.3	77.3								
Pipe internal diameter (m)	0.08	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sum of minor loss coefficients ΣK (-)	0.0	0.0									
Velocity (m/s)	2.0	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Rmaj (-)	10157	5078	4933	0	0	0	0	0	0	0	0
Rmin (-)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Head loss (m)	1.83	0.31	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TDH (m)	29.3	30.2	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1
Design Duty Point ⁽¹⁾											
Flow (m ³ /hr):	34.0										
TDH (m):	31.1										

Anexo 2 Proceso de selección del equipo de bombeo en Grundfos Product Center




Choose action [LOAD PARAMETERS](#) [SAVE PARAMETERS](#) [Reset to defaults](#) [START SIZING](#)

Select parameters

Location

Latitude *

Longitude *



Power supply

Pump type Bore hole Surface pump

Size by Water volume (max) Number of solar modules

Water volume (max) * US gal/day

Static lift above ground * m

Dynamic water level * m

Pipe system friction losses m

Month for sizing

Solar modules

Anexo 3-Fichas Técnicas de Rsi y Power Adapt

Grundfos RSI

Renewable Solar Inverter for pump control
1.5-250 kW



be
think
innovate

GRUNDFOS 

Grundfos RSI

AC Drives

Installation and operating instructions



be
think
innovate

GRUNDFOS 

Increasing capacity for **SOLAR WATER SOLUTIONS** with **RSI**

The intelligent IP66 off-grid Solar Inverter (RSI) is designed to run with large Grundfos pumps, greatly expanding possibilities for solar water solutions offering low (or nearly no) operating costs.

The RSI is incredibly easy to setup and install, and pairs easily with SP submersible pumps as well as a broad range of Grundfos pumps, creating a modular system which allows maximum components flexibility.



Weatherproof for outdoor installation

With an IP66 enclosure class rating, the RSI is resistant to rain, dust and sand, meaning there is no requirement for a weatherproof cabinet with ventilation and air filter. The RSI can handle ambient temperatures up to 60 °C. In addition to substantial cost savings for installation, placing the solar inverter beneath the solar panel array means only a very short DC cable is required, and this is an extremely important safety advantage for users and personnel.

Continuous system optimisation

Advanced MPPT software continuously optimises the system by compensating for environmental effects on solar panel array, improving power and water output by up to 30%. Environmental effects cover

- 1) temperature compensation,
- 2) handling of multiple local power points due to partial shading, and
- 3) protection against power oscillation due to rapid cloud movement.

Quick setup with Grundfos pump motors

The quick setup Wizard pairs the RSI quickly with a broad range of Grundfos pumps. With a built-in Grundfos motor library all that is required is confirmation of motor type and pre-set value; no parameter input is necessary for Grundfos pumps. This means

- 1) setup completed in less than 5 minutes, and
- 2) enables setup of the RSI in the workshop prior to a plug-and-pump experience on site.

AC/DC compatible

You can switch the solar inverter to mains power or generator if required, because the drive is compatible to both AC and DC power input without the need to change any parameter settings. Simply connect the two power sources via an external switchover box, and you take advantage of solar energy during the day and mains power or generator during the night.

AN INVESTMENT THAT PAYS FOR ITSELF

THERE ARE SUBSTANTIAL BENEFITS OVER TIME WHEN INSTALLING A SOLAR WATER SOLUTION, AND PAYBACK TIME IS OFTEN SURPRISINGLY QUICK.

If you already have an SP pump installed and can see just how high your energy and perhaps fuel transport costs really are, then you should consider a solar energy solution using a solar inverter. With Grundfos, retrofitting a solar energy source to your SP pump is straightforward and the cost benefit is immediate.

RSI, 1.5 - 250 kW

Safety instructions and other important information



RSI, 1.5 - 250 kW
Safety instructions
(all available languages)
<http://net.grundfos.com/igr/05005650>

be
think
innovate

GRUNDFOS 

GF 270

GF 270 solar modules are suitable for the RSI, SQFlex and CRFlex water supply system based on renewable energy sources.

GF 270 solar modules consist of 60 polycrystalline silicon solar cells in series with 3 bypass diodes. The solar cells are laminated between sheets of ethylene vinyl acetate (EVA) and tempered glass.

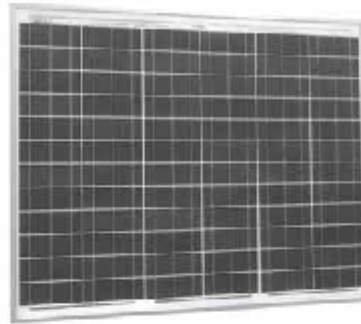
Each solar module is equipped with plugs and sockets for easy connection of several modules in parallel or series. The solar modules must be mounted on a support structure, tilted at an angle ensuring optimum utilisation of the solar energy.

Quality

- Manufactured in ISO 9001 and 14001-certified factories.
- Listed by Underwriter's Laboratories for electrical and fire safety (Class C fire rating).
- GF 270 is CE marked.
- Compliant with the requirements of IEC 61215 including:
 - thermal cycling between -40 °C and 85 °C (-40 °F and 185 °F) at 85 % relative humidity,
 - simulated impact of one inch hail at 84 km/h (52 mph) (terminal velocity),
 - a "damp heat" test, consisting of 1000 hours of exposure to 85 °C (185 °F) and 85 % relative humidity,
 - a "hot spot" test determining a module's ability to tolerate localised shadowing (which can cause reverse-biased operation and localised heating),
 - static mechanical load, front and back, of 2400 Pa (0.35 psi / 50 psf) corresponding to a windspeed of 130 km/h (81 mph); front load (e.g. snow) of 5400 Pa (0.78 psi / 113 psf),
 - certified according to IEC 61730-1 and IEC 61730-2:2007-05.

Warranties

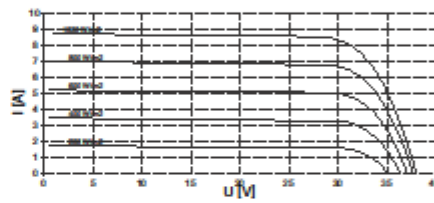
- Power output:
 - 25 years limited warranty of 80 % power output.
 - 12 years limited warranty of 90 % power output.
- Workmanship: 2 years.



TMD 9 8020 4016

Performance

The performance chart below shows the relationship between the current [A] and the voltage [V].



TMD 9 8020 4016

Characteristics

	GF 270
Peak power (P_{max})	270 W
Voltage (U_{mp})	31.6 V
Current (I_{mp})	8.76 A
Open circuit voltage (U_{oc})	38.4 V
Short circuit current (I_{sc})	9.11 A
Temperature coefficient (I_{sc})	0.05 %/K
Temperature coefficient (V_{oc})	-0.31 %/K
Number of solar cells	60 cells
Nominal operating temperature (NOCT)	46 °C
Connector	MC4
Net weight	18 kg
Dimensions	1640 x 992 x 35 mm

SOLAR-POWERED WATER SUPPLY

UNMATCHED FLEXIBILITY FOR
WATER SERVICES TO COMMUNITIES

be
think
innovate

GRUNDFOS 