



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**CASO DE ESTUDIO: COSTO-BENEFICIO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
REDUCIR EL CONSUMO DE LAS BOMBAS DE RIEGO EN FINCA AZUCARERA**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

21711003 KENNETH STWOLINSKY GARCÍA

ASESOR: ALICIA MARÍA REYES DUKE

CAMPUS SAN PEDRO SULA; JULIO, 2020

Este trabajo está dedicado a mis padres, quienes me han dado todo su apoyo para el cumplimiento de mi formación universitaria.

A mis amigos, Alfredo Osorio, Carlos Lara, César Núñez y Nicolle Dubón, por su gran apoyo y amistad a lo largo de toda mi carrera universitaria.

A mi novia Karen Romero, por su incondicional apoyo y motivación en la etapa final de mis estudios.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco...

A la Ing. Alicia Reyes por su apoyo y orientación en la realización de este trabajo, por su dedicación y toda su enseñanza.

Al Ing. Franklin Martínez por su apoyo y orientación en la realización de este trabajo.

RESUMEN EJECUTIVO

Este trabajo presenta los resultados del caso de estudio sobre el costo-beneficio (B/C) de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en una finca azucarera, como alternativa para reducción de consumo de electricidad de la red. El sistema de bombeo eléctrico de Finca "El Modelo" representa un consumo de energía de 1,087.2 [MWh/año] lo que se traduce en un gasto de \$230,714.92. El estudio se basa en tres análisis: de mercado, técnico y financiero. El análisis de mercado representa el perfil de demanda actual, este perfil muestra que más del 70% de la energía es consumida durante el tiempo de insolación. El análisis técnico se basa en la interpretación de datos meteorológicos, como la radiación global anual que representa 1,800 [kWh/m²] y una duración de insolación diaria de aproximadamente 8 horas; el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red de 4,431 [m²], con una potencia instalada óptima de 474.2 [kW] y la comparación de su simulación de funcionamiento entre Helioscope y PVSyst, que presenta una generación de energía anual de 686.2 [MWh] y una penetración solar del 65%. El análisis financiero tiene como fin calcular el B/C, por lo que se calcula un costo nivelado de la energía (LCOE) de 0.0425 [\$/kWh], gracias a este factor se establece una proyección del valor actual de ahorros de \$1,009,148.71, los cuales se comparan con el valor actual de los costos por inversión inicial de \$555,603.44, estos valores se relacionan para establecer el B/C del proyecto, lo que supondrá la rentabilidad del proyecto.

ABSTRACT

This work presents the results of the case study on the cost-benefit (B/C) of the implementation of a photovoltaic solar system on a sugar cane farm, as an alternative to reducing electricity consumption from the grid. "El Modelo's" farm, electric pumping system represents an energy consumption of 1,087.2 [MWh/year], which translates into an expense of \$ 230,714.92. The study is based on three analyzes: market, technical, and financial. The market analysis represents the current demand profile, this profile shows that more than 70% of the energy is consumed during the insolation time. The technical analysis is based on the interpretation of meteorological data, such as the annual global radiation representing 1,800 [kWh/m²] and a daily insolation duration of approximately 8 hours; the design of a grid-connected photovoltaic system of 4,431 [m²], with an installed power of 474.2 [kW] and the comparison of its simulation of operation between Helioscope and PVSyst, which presents an annual power generation of 686.2 [MWh] and a solar penetration of 65%. The financial analysis has the purpose of calculating the B/C, for which a leveled cost of energy (LCOE) of 0.0425 [\$/kWh] is calculated, thanks to this factor a projection of the current value of savings of \$1,009,148.71 is established, which are compared with the current value of the initial investment costs of \$555,603.44, these values are related to establish a B/C of 1.82, which assume that this project is profitable.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del Problema	2
1.	Precedentes del Problema	2
2.	Definición del Problema.....	4
3.	Justificación.....	4
4.	Preguntas de Investigación.....	6
5.	Objetivos.....	6
1.	Objetivo General	6
2.	Objetivos Específicos	6
III.	Marco Teórico.....	7
1.	Análisis de la situación actual	7
1.	Análisis de Macroentorno.....	7
1.	Brasil	7
2.	España.....	8
2.	Microentorno.....	10
1.	Costa Rica	10
3.	Entorno Nacional	10
1.	CAHSA	11
2.	Teorías del sustento.....	11
1.	La industria azucarera y la caña de azúcar	12
1.	Cultivo.....	12
2.	Cosecha o zafra.....	12
3.	Proceso industrial.....	13

2.	Industria azucarera en el mundo	15
1.	Superficie con caña de azúcar	15
2.	Producción de caña de azúcar	16
3.	Industria azucarera en Honduras	17
4.	CAHSA.....	17
1.	Producción	19
2.	Consumo y generación de energía.....	19
5.	Cambio climático.....	19
1.	Fenómeno "El Niño"	20
2.	Evapotranspiración	20
6.	El riego en la industria azucarera.....	21
1.	Sistemas de riego	21
1.	Sistema de riego por gravedad.....	21
2.	Sistema de riego por aspersión	21
3.	Sistema de riego por goteo	22
7.	Riego en CAHSA.....	22
8.	Energía solar fotovoltaica	23
1.	Radiación solar	23
2.	Cálculo de cantidad de paneles solares para un sistema fotovoltaico	23
9.	Conceptos financieros.....	24
1.	Costo-Beneficio (B/C).....	24
2.	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	24
3.	Valor Actual Neto (VAN).....	24
4.	Costo nivelado de la energía (LCOE).....	24
5.	Rentabilidad	24

IV. Metodología.....	25
1. Variables de investigación.....	25
1. Variable Dependiente.....	25
2. Variable Independiente	25
2. Hipótesis	28
1. Hipótesis de investigación.....	28
2. Hipótesis nula.....	28
3. Técnicas e instrumentos.....	28
4. Diseño metodológico	29
5. Metodología de investigación.....	30
6. Cronograma de actividades.....	32
V. Análisis y resultados.....	33
1. Descripción del sistema.....	33
2. Análisis del mercado	33
3. Análisis técnico	34
1. Meteonorm	34
2. Diseño del sistema.....	36
1. Simulación Helioscope	37
2. Simulación PVsyst	38
3. Análisis económico.....	40
VI. Conclusiones	44
VII. Recomendaciones.....	45
VIII. Trabajo futuro	46
Bibliografía.....	47
Anexos.....	50

Anexo 1 – Simulación Helioscope.....	50
Anexo 2 – Simulación PVsyst.....	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1- Gasto por consumo eléctrico en fincas de CAHSA.....	3
Ilustración 2- Consumo de energía finca "El Modelo".....	3
Ilustración 3- Costo energía finca "El Modelo".....	4
Ilustración 4- Porcentaje de gasto por energía en fincas.....	5
Ilustración 5- Consumo eléctrico por irrigación en Brasil.....	8
Ilustración 6- Consumo eléctrico por bombeo en viñedo.....	9
Ilustración 7- Gráficas anuales de energía disponible y energía demandada.....	9
Ilustración 8- Imagen satelital finca "El Modelo".....	11
Ilustración 9- Diagrama del proceso de fabricación del azúcar.....	15
Ilustración 10- Países con mayor superficie de azúcar 2014-2016.....	16
Ilustración 11- Principales países productores de caña de azúcar 2014-2016.....	16
Ilustración 12- Vista panorámica Ingenio Santa Matilde.....	18
Ilustración 13- Imagen satelital CAHSA.....	18
Ilustración 14- Temperaturas máxima por meses: 2015, 2016 y 2017.....	20
Ilustración 15- Variables dependiente e independientes.....	26
Ilustración 16- Diseño de esquema metodológico.....	30
Ilustración 17- Metodología de investigación.....	31
Ilustración 18- Perfil de carga de un día promedio.....	33
Ilustración 19- Radiación mensual promedio.....	34
Ilustración 20- Duración de insolación.....	35
Ilustración 21- Temperatura promedio.....	35

Ilustración 22- Precipitación mensual promedio.	36
Ilustración 23- Área y diseño del sistema fotovoltaico.....	37
Ilustración 24- Producción de energía Helioscope.	38
Ilustración 25- Pérdidas Helioscope.....	38
Ilustración 26- Producción de energía PVsyst.....	39
Ilustración 27- Pérdidas PVsyst.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Distribución de sistemas de riego en Honduras (2016);**Error! Marcador no definido.**

Tabla 2- Cronograma de actividades**¡Error! Marcador no definido.**

Tabla 3- Parámetros principales 40

Tabla 4- Presupuesto de inversión en Dólares..... 41

Tabla 5- Resultados..... 43

ÍNDICE DE TABLAS

Ilustración 1- GASTO POR CONSUMO ELÉCTRICO EN FINCAS DE CAHSA.....	3
Ilustración 2- CONSUMO DE ENERGÍA FINCA "EL MODELO"	3
Ilustración 3- COSTO ENERGÍA FINCA "EL MODELO"	4
Ilustración 4- PORCENTAJE DE GASTO POR ENERGÍA EN FINCAS.	5
Ilustración 5- CONSUMO ELÉCTRICO POR IRRIGACIÓN EN BRASIL.....	8
Ilustración 6- CONSUMO ELÉCTRICO POR BOMBEO EN VIÑEDO.....	9
Ilustración 7- GRÁFICAS ANUALES DE ENERGÍA DISPONIBLE Y ENERGÍA DEMANDADA.....	9
TABLA 1	10
Ilustración 8- IMAGEN SATELITAL FINCA "EL MODELO"	11
Ilustración 9- DIAGRAMA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL AZÚCAR.....	15
Ilustración 10- PAÍSES CON MAYOR SUPERFICIE DE AZÚCAR 2014-2016.....	16
Ilustración 11- PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE CAÑA DE AZÚCAR 2014-2016	16
Ilustración 12- VISTA PANORÁMICA INGENIO SANTA MATILDE.....	18
Ilustración 13- IMAGEN SATELITAL CAHSA.....	18
Ilustración 14- TEMPERATURAS MÁXIMA POR MESES: 2015, 2016 Y 2017	20
Ecuación 1- FÓRMULA CANTIDAD DE PANELES FOTOVOLTAICOS.....	23
Ecuación 2- FÓRMULA LCOE.....	24
.....	26
Ilustración 15- VARIABLES DEPENDIENTE E INDEPENDIENTES.	26
Ilustración 16- DISEÑO DE ESQUEMA METODOLÓGICO	30
Ilustración 17- METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.	31
Tabla 2- CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	32
Ilustración 18- PERFIL DE CARGA DE UN DÍA PROMEDIO.....	33

Ilustración 19- RADIACIÓN MENSUAL PROMEDIO.....	34
Ilustración 20- DURACIÓN DE INSOLACIÓN.....	35
Ilustración 21- TEMPERATURA PROMEDIO.....	35
Ilustración 22- PRECIPITACIÓN MENSUAL PROMEDIO.....	36
Ilustración 23- ÁREA Y DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	37
Ilustración 24- PRODUCCIÓN DE ENERGÍA HELIOSCOPE.....	38
Ilustración 25- PÉRDIDAS HELIOSCOPE.....	38
Ilustración 26- PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PVSYSY.....	39
Ilustración 27- PÉRDIDAS PVSYSY.....	39
Tabla 3- PARÁMETROS PRINCIPALES.....	40
Tabla 4- Presupuesto de inversión en Dólares.....	41
Ilustración 28-.....	42
Ilustración 29- PROMEDIO DE AHORROS ANUALES.....	42
Tabla 5- RESULTADOS.....	43

I. INTRODUCCIÓN

Las actividades en la industria azucarera requieren, entre muchos recursos, el suministro de abundante agua y energía eléctrica. Para esto se han implementado diversas tecnologías para garantizar su obtención y distribución. El riego en la industria azucarera es un proceso imprescindible que tanto como ocupa de grandes cantidades de agua, consume una gran cantidad de energía.

Los sistemas menos eficientes de riego, como el riego por gravedad, desperdician una gran cantidad de agua, pero no consumen energía. Mientras que los sistemas más eficientes, como el sistema por aspersores o goteo, aunque disminuyen el consumo de agua, consumen mucha energía por su sistema de bombeo (sistema que no ocupa el riego por gravedad). Se ha demostrado que es mejor para la industria los riegos más eficientes, aunque aumente el consumo de energía y esto genere un alto gasto económico.

En CAHSA, la industria azucarera más importante del país, existen 13,976 [Ha] de cultivo de caña de azúcar distribuidas en distintas fincas a lo largo de todo el valle de Sula, estas fincas actualmente presentan un mayor porcentaje de sistemas de riego por aspersión y goteo. Por lo que para reducir el gasto económico que genera el consumo energético del sistema actual de bombas de riego en CAHSA se diseñará un sistema solar fotovoltaico para la finca "El Modelo", que representa 664.06 [Ha], el riego en esta finca es 100% con sistema por goteo y representa un gasto aproximado de 5.7 millones de lempiras o \$230,714.92 al año y así mismo un consumo de 1,087.2 (MWh/año), estos gastos representan el 19.7% de todos los gastos por consumo energético de las fincas azucareras.

Se harán diseños y simulaciones con HOMER Grid, Helioscope y PVsyst para realizar en análisis de la viabilidad técnica del proyecto, además se harán análisis financieros, se calculará el LCOE del sistema a realizar y se estudiará la rentabilidad de este a través de su costo-beneficio. El estudio se realizará tomando en cuenta los precedentes de sistemas solares fotovoltaicos en Honduras que han ayudado en gran medida a la reducción del gasto económico generado por el consumo eléctrico en distintas áreas.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se darán a conocer los precedentes del problema, viéndose como, desde que se empezó a utilizar sistemas de riego con bombas eléctricas ha mejorado la eficiencia en el cultivo del azúcar, pero han aumentado los consumos de energía eléctrica. Seguidamente, definiendo el problema de investigación donde se establecen parámetros importantes de los consumos y gastos generados por el riego. Posteriormente, se argumentará la justificación del estudio con argumentos válidos. Luego se detallarán las preguntas de investigación que orientarán las respuestas que se quieren encontrar con el estudio. Por último, se enlistarán los objetivos que son los que ayudarán a llegar a la respuesta de las preguntas de investigación.

1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA

La Compañía Azucarera Hondureña (CAHSA) es el ingenio azucarero más grande de Honduras, ubicado en Búfalo, Municipio de Villanueva, Cortés, puede procesar 13,000 toneladas de caña de azúcar por día, procesando alrededor de 13,976 [Ha] de caña de azúcar (APAH, 2020).

El riego en los cultivos se ha visto altamente afectado por el cambio climático en los últimos años, han aumentado las temperaturas y disminuido las lluvias, por lo que han aumentado significativamente las actividades de riego. Por lo mismo los gastos que incurren el utilizar los sistemas de riego aumenta cada año. Es por esto por lo que CAHSA ha buscado sistemas de riego más eficientes, como el riego por goteo, aunque este sistema consume una gran cantidad de energía eléctrica por su sistema de bombeo.

El terreno para cultivo de caña de azúcar se divide en distintas fincas, estas fincas tienen distintos sistemas de riego, algunas aún con sistemas de riego por gravedad (que no ocupan energía eléctrica) al mismo tiempo que poseen sistemas de riego por aspersión y/o goteo. Otras fincas como "El Modelo", la cual será la analizada en este estudio, poseen un sistema de riego por goteo en un 100%, lo que CAHSA va planeando para todas sus fincas en el futuro.

En la ilustración 1 se observa como a lo largo de los últimos cinco años el gasto por consumo de energía en las fincas de CAHSA ha aumentado considerablemente, esto debido a los proyectos de instalación de sistemas de riego eléctricos. Se presentaba un gasto de 12.8

millones de lempiras para el año 2016 y ahora en 2020 este valor ha llegado a los 29.08 millones de lempiras.

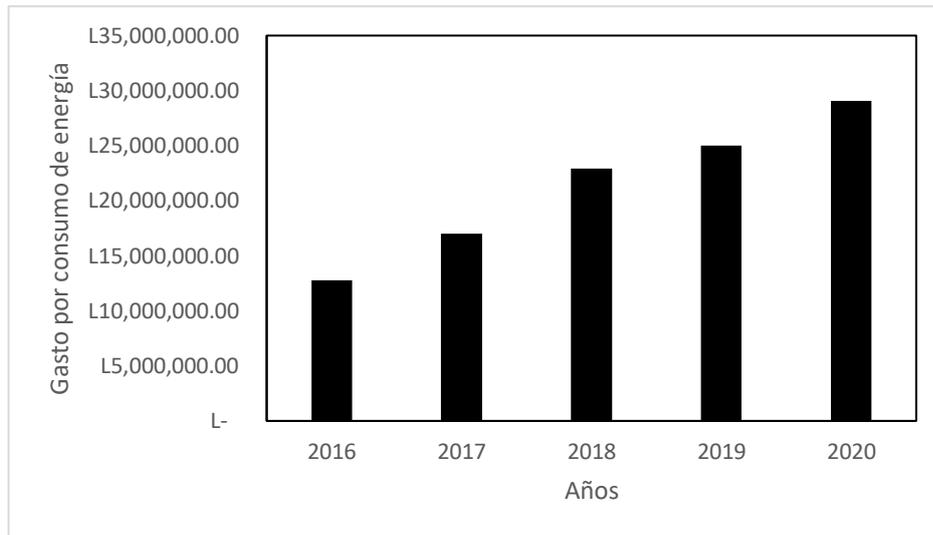


Ilustración 1- GASTO POR CONSUMO ELÉCTRICO EN FINCAS DE CAHSA.

Fuente: Informes financieros CAHSA (CAHSA, 2020)

En la ilustración 2 se mostrará la comparación del consumo de energía eléctrica de la finca "El Modelo", desde febrero del 2019 hasta enero del 2020. Este consumo de energía es únicamente afectado por el uso de las bombas del sistema de riego. Se puede observar en la gráfica como marzo es el mes en que más se consume energía con 136,800 [kWh], además se tiene un promedio mensual de consumo de 90,600 [kWh] y el consumo anual suma un total de 1,087,200 [kWh].

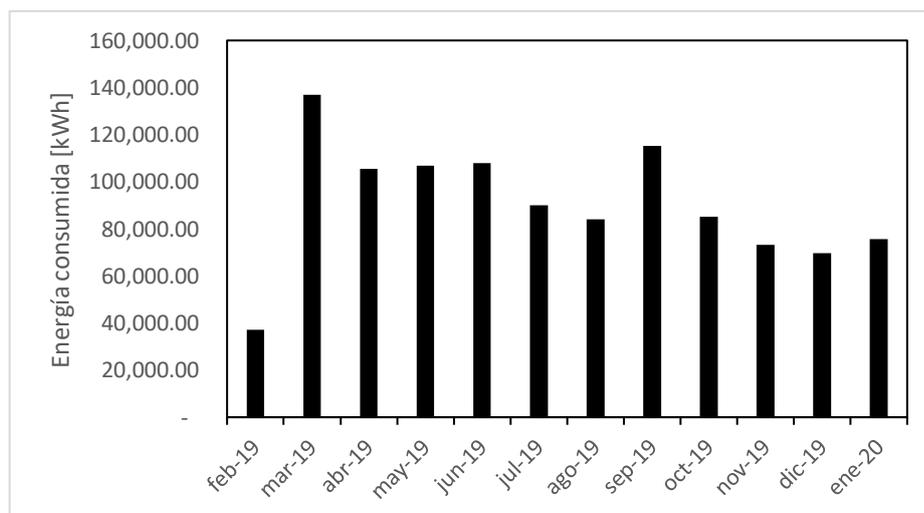


Ilustración 2- CONSUMO DE ENERGÍA FINCA "EL MODELO".

Fuente: Facturas de energía CAHSA (ENEE, 2019-2020)

A continuación, se muestra el gasto en lempiras que paga CAHSA por el consumo de la energía consumida en la finca "El Modelo" entre febrero del 2019 y enero del 2020. Se puede observar en la gráfica como marzo es el mes en que más se paga por consumo de energía con L. 662,299.44, además se tiene un gasto promedio mensual de L. 480,079.29 y en el año se suma un gasto de L. 5,760,951.52.

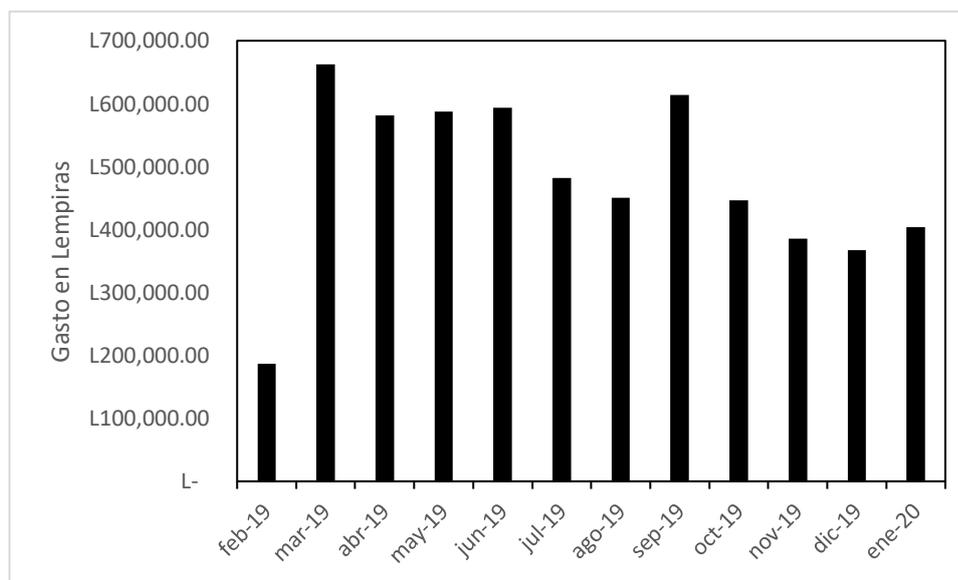


Ilustración 3- COSTO ENERGÍA FINCA "EL MODELO".

Fuente: Facturas de energía CAHSA (ENEE, 2019-2020)

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El consumo eléctrico de las fincas que poseen sistemas de riego con bombas eléctricas representa un gasto económico de 29 millones de lempiras para CAHSA en 2020. Una parte importante de este consumo es debido al sistema de riego por goteo en la finca "El Modelo", representando 5.7 millones de lempiras y aproximadamente un 19.7% del gasto anualmente (año de producción de caña, junio a mayo).

¿Es posible que la implementación de un sistema de generación fotovoltaica suponga un gasto menor al actual?

3. JUSTIFICACIÓN

El riego es un proceso imprescindible para cualquier agroindustria, encontrar la manera de reducir un gasto tan importante es de interés no sólo para CAHSA si no para todos los ingenios en el país e incluso para otras agroindustrias de grandes terrenos. Un sistema

fotovoltaico para reducir parcial o completamente el consumo de las bombas de riego es una solución sencilla que no afectará ningún procedimiento ya existente, además ya existen muchos precedentes de sistemas fotovoltaicos en el país que han funcionado perfectamente y han ayudado mucho al ahorro de gastos en energía. Por otro lado, es una forma de energía limpia y renovable que reducirá la huella de carbono de la compañía.

Para la investigación se ha escogido evaluar la rentabilidad de un sistema fotovoltaico en finca "El Modelo", esto debido a que esta finca fue una de las primeras en presentar un sistema de riego eléctrico en todos sus lotes, teniendo ahora un 100% de riego por goteo. Además, es la segunda finca con mayor consumo de energía después de finca "Cañaveral". Finca "Cañaveral" no fue tomada en cuenta para la investigación debido a que presenta una mezcla de distintos sistemas de riego y no todos son eléctricos.

Finca "El Modelo" representa el 19.7% del gasto por consumo eléctrico anual de todas las fincas de CAHSA lo que se traduce en aproximadamente 5.7 millones de lempiras, como se puede observar en la ilustración 4.

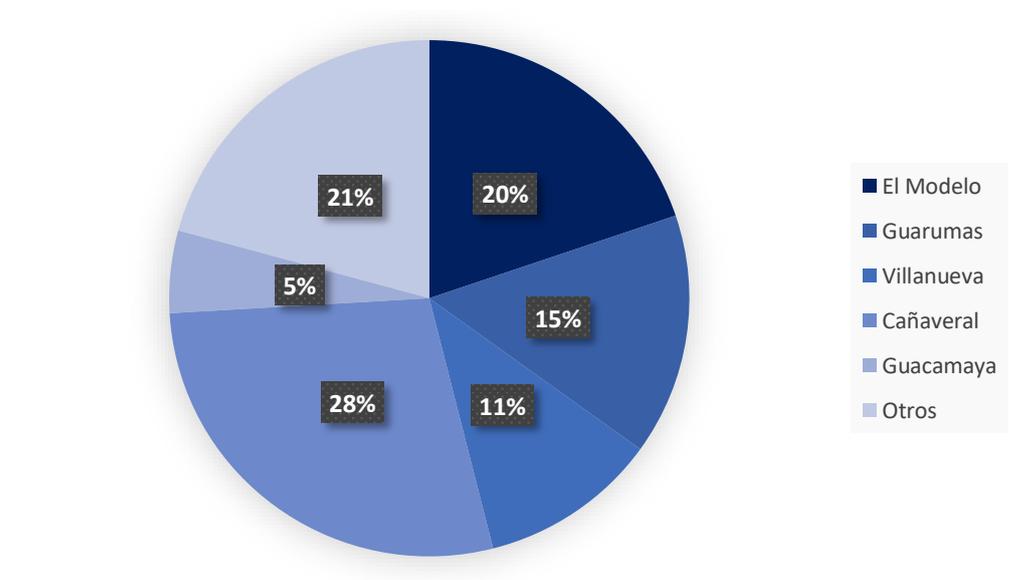


Ilustración 4- PORCENTAJE DE GASTO POR ENERGÍA EN FINCAS.

Fuente: Informe financiero CAHSA (CAHSA, 2020)

Por lo que tomando en cuenta este gasto se esperaría que la implementación de un sistema solar fotovoltaico pueda generar un ahorro, comparando su LCOE con la tarifa actual a la que se compra la energía.

4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Es un sistema fotovoltaico más rentable que el sistema actual?
2. ¿Cuánto porcentaje de energía representa el consumo de las bombas durante el día?
3. ¿Cuál será la capacidad óptima del sistema para poder satisfacer la demanda energética?
4. ¿Cuánto dinero podría ahorrar CAHSA con este sistema fotovoltaico?
5. ¿El sistema fotovoltaico tendrá un LCOE más bajo que la tarifa actual?
6. ¿En cuánto tiempo se podría recuperar la inversión de este sistema fotovoltaico?

5. OBJETIVOS

El objetivo general es el propósito que se pretende alcanzar con la investigación, expresa de forma clara y precisa los resultados que se buscan. Para alcanzarlo es necesario el uso de los objetivos específicos quienes indicarán que es lo que se pretende alcanzar en las distintas etapas de la investigación.

1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el costo-beneficio de la instalación de un sistema fotovoltaico para el consumo de las bombas de riego en la finca "El Modelo".

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar si un sistema fotovoltaico es más rentable que el sistema actual.
- Determinar la potencia nominal óptima que deberá tener el sistema para poder satisfacer la demanda energética.
- Determinar la potencia que se debe instalar para satisfacer la demanda energética de la finca.
- Analizar qué tanto dinero puede ahorrar CAHSA con este sistema fotovoltaico.
- Calcular el LCOE del sistema fotovoltaico.
- Determinar cuánto tiempo tardaría en recuperarse la inversión por la instalación del sistema fotovoltaico.

III. MARCO TEÓRICO

Este capítulo se dividirá en dos partes principales, el análisis de la situación actual y las distintas teorías que sustentan la investigación.

1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Se analizará la situación actual del problema de investigación desde un punto de vista internacional, regional y nacional. Se analizarán los consumos energéticos por el uso de bombas de riego, los gastos que estos consumos puedan representar y la existencia de sistemas fotovoltaicos para cubrir este consumo.

1. ANÁLISIS DE MACROENTORNO

El aumento de la necesidad de riego y la búsqueda de sistemas de riego más eficientes ha conllevado a el uso de sistemas de riego con alto consumo energético a nivel internacional.

1. Brasil

Brasil es uno de los países con mayor producción agrícola a nivel mundial, destaca por ser el máximo productor de caña de azúcar en el mundo.

Según (Cezar de Lima, Camargo-Guimarães-Jr., R. Fietz, & R. Camacho, 2008) el área agrícola irrigada en Brasil es de 3.4 millones Ha, tomando en cuenta cuatro sistemas de riego principales: pivote, aspersión, goteo y gravedad, donde el consumo eléctrico por los sistemas de riego representa 4,641.47 GWh al año. La comparación de estos consumos por sistema de riego se puede observar en la ilustración 5.

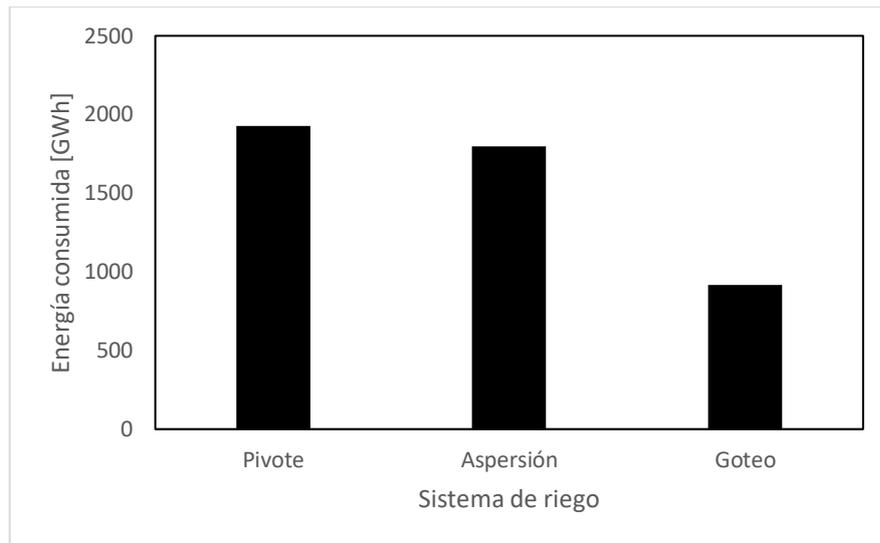


Ilustración 5- CONSUMO ELÉCTRICO POR IRRIGACIÓN EN BRASIL.

Fuente: (Cezar de Lima, Camargo-Guimarães-Jr., R. Fietz, & R. Camacho, 2008)

2. España

España es uno de los países europeos que más ha apostado por la energía solar y gracias a esto ha logrado aprovechar esta energía para el consumo de sus sistemas de bombeo. La bajada de precios de los sistemas fotovoltaicos, la constante alza a los precios de combustible y a la electricidad, lograron que fueran apareciendo en el país sistemas de bombeo fotovoltaicos que resultan rentables, principalmente aplicados para el consumo humano y el riego por goteo, aunque desde el 2015 se lograron sistemas para el riego por aspersión (Omaña Álvarez, Antonio de Castro, & Medrano Villalón, 2015).

El proyecto europeo LIFE REWIND (*Renewable Energy in the Wine INDustry*) ha estudiado el consumo eléctrico anual de los bombeos de riego en los viñedos, como se puede ver en la ilustración 6.

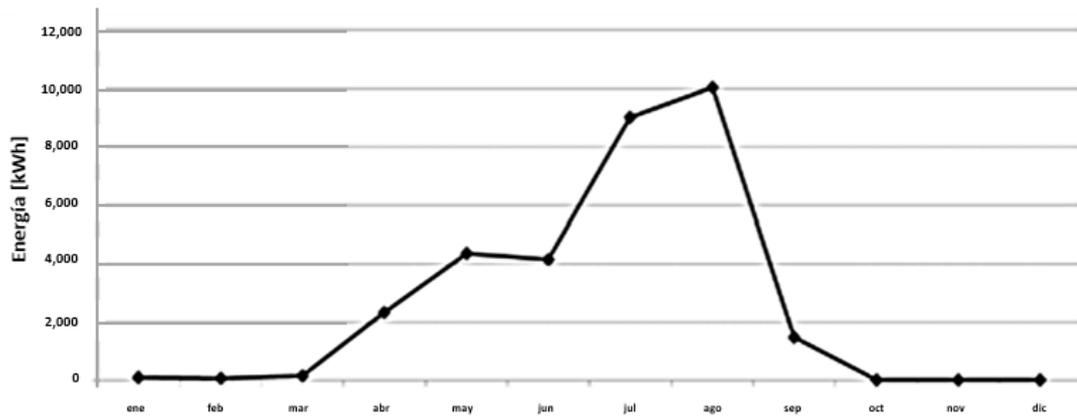


Ilustración 6- CONSUMO ELÉCTRICO POR BOMBEO EN VIÑEDO.

Fuente: (Carroquino, García, Gargallo, García-Ramos, & Yago, 2017)

Tras analizar este consumo se realizó un prototipo de generación solar que cubriría este consumo, en la ilustración 7 se puede observar la comparación mes a mes de la energía producida con la energía demandada por sistema de riego del viñedo y en la que se puede concluir la rentabilidad del uso de sistemas fotovoltaicos para cubrir el consumo de los riegos del viñedo.

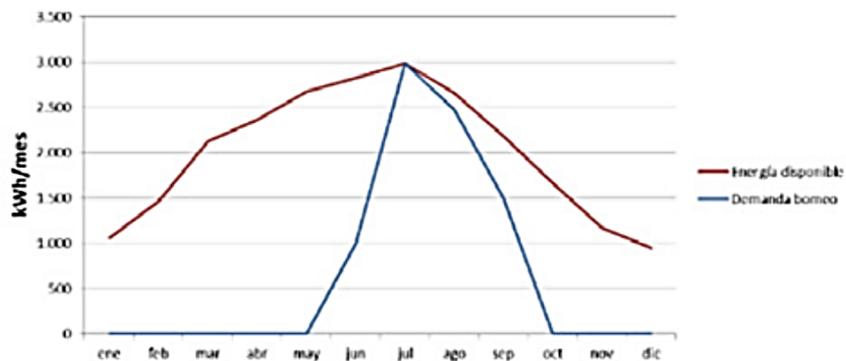


Ilustración 7- GRÁFICAS ANUALES DE ENERGÍA DISPONIBLE Y ENERGÍA DEMANDADA.

Fuente: (Carroquino, García, Gargallo, García-Ramos, & Yago, 2017)

Los sistemas de riego por goteo que aprovechan la energía solar presentan ventajas, como un uso eficiente del agua y la energía en las zonas de riego agrícola por lo que su implementación se hace cada vez más popular (Cervera, Del Castillo, Montero, Tarjuelo, & Moreno, 2018).

2. MICROENTORNO

A nivel centroamericano la agroindustria es un área de mucha importancia e influencia, por lo que los consumos de los sistemas de riego eléctrico también representan un problema.

1. Costa Rica

Según (Gamboa, 2014) el sector agrícola en Costa Rica representa el 9% del PIB y posee más de 120,000 Ha irrigadas y debido al cambio climático ha aumentado la necesidad del recurso hídrico en todos los sectores del país, siendo uno de estos el agrícola.

Por esto se diseña un sistema de riego por goteo cuyo consumo se ve cubierto por un sistema fotovoltaico, en este caso para un invernadero en Alajuela. Este invernadero presenta un consumo mensual de 111 kWh y podrá ser cubierto en su totalidad con un sistema solar de 4 paneles (debido a su bajo consumo).

3. ENTORNO NACIONAL

En las últimas décadas la temperatura promedio anual en Centroamérica se ha incrementado y la precipitación se ha reducido. Los pronósticos climáticos según los Centros de Estudios Atmosféricos Regionales e Internacionales indican que tales tendencias se mantendrán, e incluso se acentuarán en los próximos años.

Este cambio climático genera año con año un aumento de las necesidades de riego, por lo que se han ido implementado nuevos sistemas de riego y aunque estos consuman menos agua, consumen bastante energía eléctrica por su sistema de bombeo.

En Honduras el sistema de riego más utilizado es el sistema de aspersión móvil, seguido por la aspersión semifija y el de goteo, como se puede ver en la tabla 1.

TABLA 1- Distribución de sistemas de riego en Honduras (2016)

Tipo	Área [Ha]	Porcentaje
Aspersión semifija	15,437.00	23.00%
Aspersión móvil	23,726.24	36.00%
Goteo	20,188.72	30.00%

Pivote	156.52	0.23%
Gravedad	7,227.64	10.77%
Total	66,736.12	100%

Fuente: (APAH, 2017)

1. CAHSA

En CAHSA también se han ido implementado estos sistemas de riego eléctricos como el riego por goteo. Un gran ejemplo de esto es la finca "El Modelo", la cual cuenta con un sistema de riego de goteo al 100% en todos sus lotes.

Finca "El Modelo" cuenta con aproximadamente 644 Ha, consume por su sistema de riego eléctrico un promedio de 90,600 kWh al mes y representa un gasto 5.7 millones de lempiras anualmente. En la ilustración 8 se puede ver una imagen satelital de esta finca y como están distribuidos sus lotes.

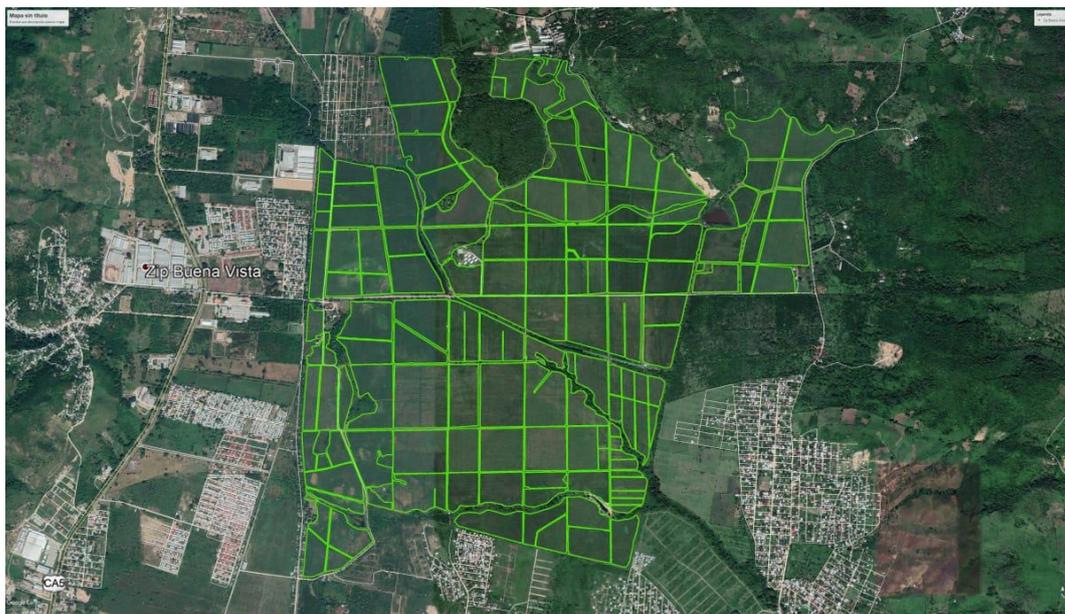


Ilustración 8- IMAGEN SATELITAL FINCA "EL MODELO"

Fuente: (Google Earth, 2020)

2. TEORÍAS DEL SUSTENTO

En esta sección se presentan definiciones y conceptos que explicarán y validarán la investigación.

1. LA INDUSTRIA AZUCARERA Y LA CAÑA DE AZÚCAR

La industria azucarera es un sector económico dedicado a la siembra, cosecha y procesado industrial de la caña de azúcar. La caña de azúcar es considerada uno de los cultivos agroindustriales más importantes del mundo, se origina en el sureste asiático y ahora se cultiva mundialmente, especialmente en países tropicales y subtropicales. (Dancé Caballero & Sáenz Yaya, 2016)

1. Cultivo

Un cultivo eficiente puede llegar a producir 150 toneladas de caña de azúcar por hectárea al año (con 14% de sacarosa, 14% de fibra y 2% de otros productos solubles). La caña de azúcar es un cultivo que ocupa un buen aporte de agua y humedad relativa alta, su período de crecimiento suele rondar entre 11 y 17 meses. (Facultad de Ingeniería, UNCUIYO, 2007)

La caña de azúcar requiere temperaturas mínimas de 14 °C, aunque su temperatura óptima es de 30 °C. Se suele adoptar a la mayoría de los suelos, pero se ve más beneficiada y produce más azúcar en suelos ligeros, si el riego y el abonado es el correcto.

La caña de azúcar se aprovecha principalmente como sacarosa, para azúcar blanca o morena; también se puede aprovechar con la producción de melaza, que es la materia prima del ron; y al mismo tiempo en el proceso de la caña de azúcar se puede aprovechar el bagazo (residuo sólido de la caña), que es una excelente biomasa para la producción de energía.

2. Cosecha o zafra

La caña previa para cosechar suele ser quemada, esto para eliminar toda la parte de la vegetación que no contiene azúcar. Este proceso facilita su recolección y cosecha en gran medida, aunque genera un alto impacto ambiental. Algunos ingenios han decidido reducir cierto porcentaje de la quema, aunque esto signifique una cosecha menos eficiente.

La cosecha de la caña suele durar entre 4 y 5 meses del año, normalmente se realiza en la temporada seca. Puede realizarse de tres maneras distintas, cosecha manual, semi mecánica y mecánica.

La cosecha manual es realizada por cosechadores con machete, los cosechadores cortan la caña y terminan de quitar los residuos vegetales restantes de la quema, seguido de esto los cosechadores almacenan la caña en los camiones de almacenamiento. Un cosechador cosecha

ente 5 y 7 toneladas de caña por día (en caso de que no hubiera quema previa, este proceso es 40% menos eficiente). Es una cosecha lenta pero no requiere inversión en maquinaria.

La cosecha semi mecánica requiere siempre de un cosechador que corte la caña, pero ahora es una máquina la que la recoge y deposita en los camiones de almacenamiento. La cosecha aumenta su velocidad, pero no en una manera muy significativa.

La cosecha mecánica se hace con máquinas cosechadoras que cortan la caña y separan los tallos de las hojas con ventiladores. Al ser cortada la caña debe ser llevada rápidamente al ingenio para evitar su deterioro. Una máquina puede llegar a cosechar 30 toneladas por hora. Por lo que una sola máquina puede realizar el trabajo de cientos de empleados en mucho menos tiempo.

Por último, antes del proceso industrial, la caña que va a almacenarse se examina para determinar sus propiedades como la calidad, la cantidad de sacarosa que posee, impurezas y contenido en fibra. Después de este proceso la caña se almacena temporalmente o se lleva directamente a su lavado para luego ser dirigidas a las bandas que alimentan a las picadoras.

3. Proceso industrial

El proceso inicia con las picadoras de caña, que son máquinas que cortan los tallos de la caña para convertirlas en pequeños trozos uniformes. Seguido de esto la caña pasa al proceso de molienda, donde los molinos extraen el jugo de la caña, en este proceso se utiliza agua caliente o jugo diluido para extraer más porcentaje de sacarosa, al final de la molienda queda como residuo el bagazo.

Luego de obtener el jugo este pasa al proceso de clarificación, donde se trata con cal para elevar su pH, para llegar a un ideal de 8. Luego de ser clarificado el jugo llega a los evaporadores donde se obtendrá la meladura que tiene una concentración de aproximadamente 60% de sólidos solubles.

Al ya tener la meladura se llega al proceso de cristalización, este proceso se realiza en los tachos, esta máquina procesa la meladura para producir azúcar cristalizada. Este material es una mezcla de miel y azúcar cristalizada que se lleva al cristizador, que es un tanque de agitación horizontal para enfriamiento, esto para conseguir aún más azúcar cristalizada y así terminar el proceso de cristalización.

Después de la cristalización la mezcla de miel con azúcar pasa a un proceso de centrifugado, donde se genera azúcar cruda, sacarosa líquida y melaza. Seguido a esto se da inicio al proceso de refinación, en este proceso a la azúcar cruda se le trata con un jarabe que elimina la melaza aún existente, luego este jarabe es separado con ayuda de centrifugados y agua. Por último, en la refinación esta azúcar cristalizada se lleva a fundidores donde se fundirá con agua caliente.

La azúcar cruda luego de ser fundida y lavada pasa por otro proceso de clarificación con productos químicos, donde se vuelve a regular el pH y además se disminuyen colorantes en el producto. Luego se pasa al proceso de decoloración y filtración, donde se terminan de eliminar impurezas solubles restantes en tanques de filtración. Después del filtro, se clasifica el producto según sus purezas y calidad, los que poseen un color más oscuro se procesa de nuevo para la creación de azúcar morena y los claros se utilizan para la creación de azúcar blanca cristalizada fina. (Kung, 2002)

La azúcar sale húmeda por lo que tiene ser secada a temperaturas de 60 °C, esto debido a que esta se ve perjudicada por humedad alta. Luego de ser secada se transporta a enfriadores para reducir su temperatura a 40 °C. Ya al estar fría y seca, el azúcar está lista para ser empacada en sacos y ser distribuida para su comercio.

En la ilustración 9 se puede apreciar un diagrama que resume el proceso industrial de la caña.

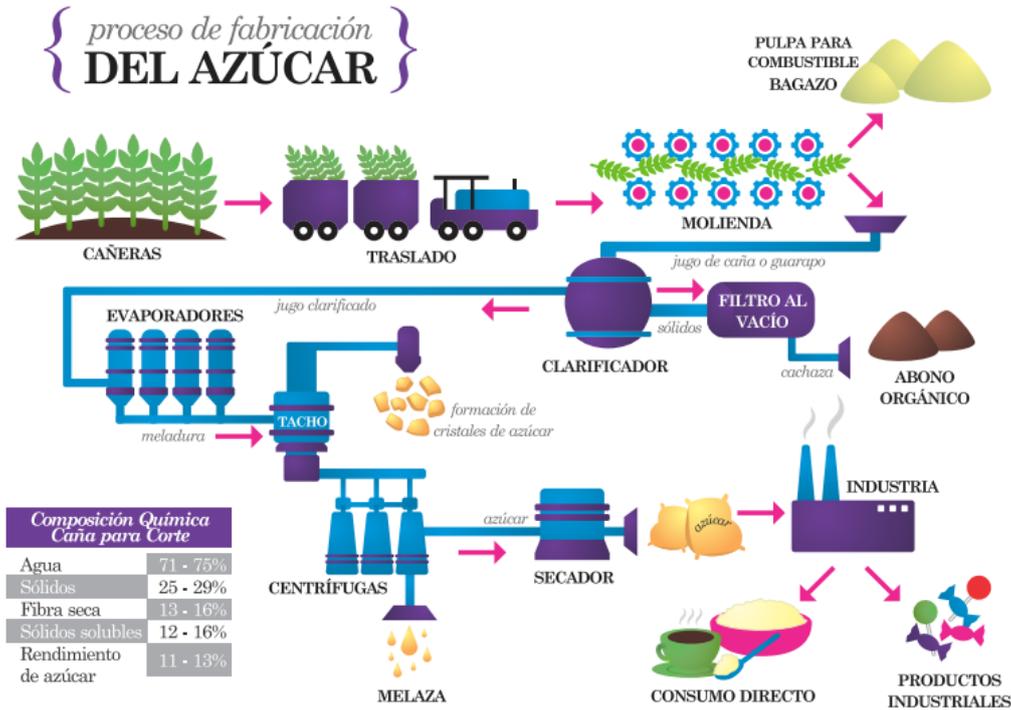


Ilustración 9- DIAGRAMA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL AZÚCAR.

Fuente: (APAH, 2017)

2. INDUSTRIA AZUCARERA EN EL MUNDO

La producción anual de caña de azúcar en el mundo para el periodo entre 2014-2016 fue de 1,885 millones de toneladas, Brasil e India producen el 59% de la caña de azúcar. Los primeros diez productores a nivel mundial representan el 83%. Durante ese mismo periodo se estima un rendimiento promedio de 70 toneladas por hectárea, en cuanto a rendimiento el país que más destaca a nivel mundial es Guatemala con 127 toneladas por hectárea, seguido por Colombia y Brasil que mantienen rendimientos superiores al promedio. (CONADESUCA & UNICIDER, 2018)

Actualmente los precios internacionales del azúcar se consideran altos, comenzaron a verse en aumento en 2015 a causa de las difíciles condiciones del mercado. (OCDE/FAO, 2017)

1. Superficie con caña de azúcar

Los países con superficies de más de 1 millón de hectáreas sólo son cinco, aunque Brasil supera con mucha diferencia esta cifra con más de 10 millones de hectáreas, México ocupa el sexto, pero con menos 800 mil hectáreas (ilustración 10).

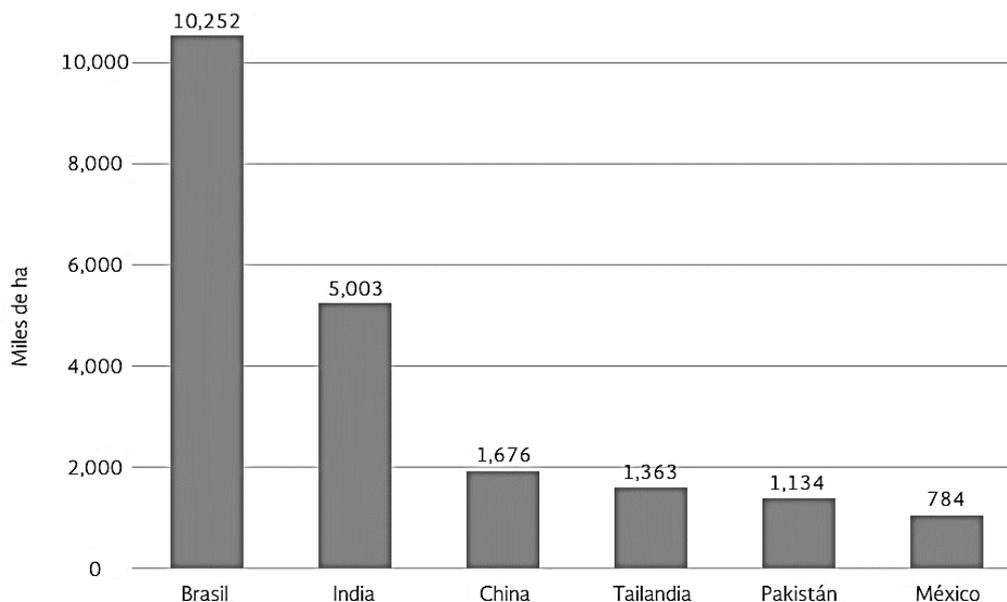


Ilustración 10- PAÍSES CON MAYOR SUPERFICIE DE AZÚCAR 2014-2016

Fuente: (FAOSTAT, 2018)

2. Producción de caña de azúcar

En la ilustración 3 se pueden apreciar los 6 países que más producen caña de azúcar a nivel mundial.

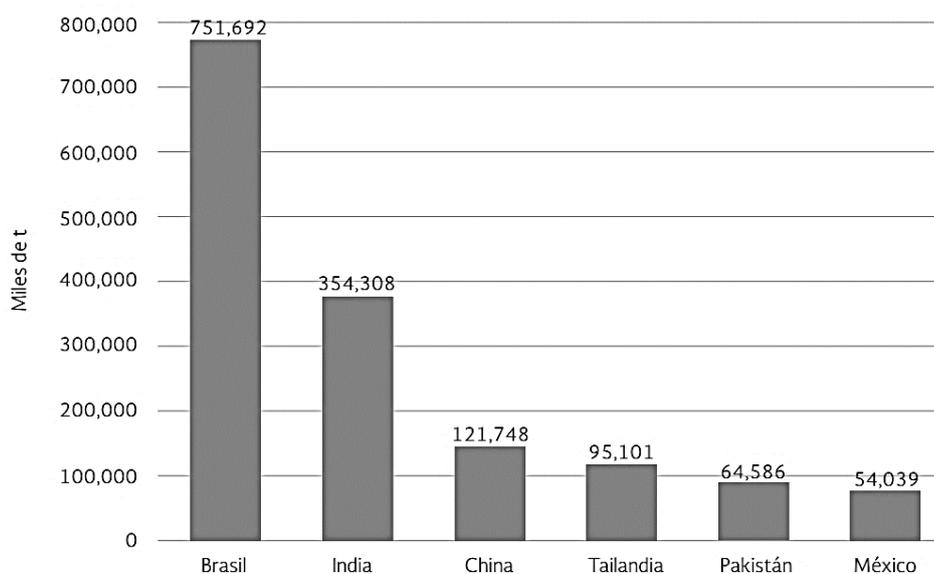


Ilustración 11- PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE CAÑA DE AZÚCAR 2014-2016

Fuente: (FAOSTAT, 2018)

3. INDUSTRIA AZUCARERA EN HONDURAS

La agroindustria azucarera en Honduras se remonta al siglo XIX, con el ingenio azucarero en Cantarranas, el cual abastecía a los pobladores del Mineral de San Juancito y parte de Tegucigalpa.

Según (APAH, 2017) en Honduras para el año 2017 se contaban con más de 55,000 Ha de caña de azúcar cultivadas y se producían 500 mil toneladas métricas de azúcar al año. El valor económico generado por la industria azucarera es de 7,622 millones de lempiras, representando un 1.5% del PIB nacional y un 13% del PIB agrícola.

La industria azucarera genera más de 200,000 empleos directos e indirectos y paga 1,749 millones de lempiras en sueldos. Además, destina 80 millones de lempiras en inversión social directa y genera 1,316 millones de lempiras en ahorros de divisas por generación de energía renovable.

En comparación Honduras ocupa la cuarta posición en la producción total de caña en Centroamérica. Para el año 2016-2017 en la zafra hondureña se produjeron 10.4 millones de sacos de 50 kg de azúcar.

4. CAHSA

El 20 de octubre de 1938, empresarios dirigidos por Roberto Fasquelle Orellana deciden fundar una empresa para dedicarse al cultivo de caña de azúcar y la fabricación del azúcar, siendo creada así en las cercanías de San Pedro Sula, Cortés la Compañía Azucarera Hondureña S.A (CAHSA). En su primera zafra tenían una capacidad diaria de molienda de 150 toneladas cortas de caña y aproximadamente 175 Ha de caña sembradas, produciendo 25,000 quintales de azúcar. (GRUPO CAHSA, 2015)

En 1967 se instala un nuevo ingenio azucarero de CAHSA en Búfalo, Villanueva, llamado Santa Matilde, en su inicio contaba con una capacidad de molienda de 4,900 toneladas cortas de caña diarias, este sería ahora el ingenio principal.

El terreno para cultivo de CAHSA es de aproximadamente de 14,000 Ha y se divide en distintas fincas que se distribuyen a lo largo de todo el valle de Sula.



Ilustración 12- VISTA PANORÁMICA INGENIO SANTA MATILDE

Fuente: (Google Maps, 2020)

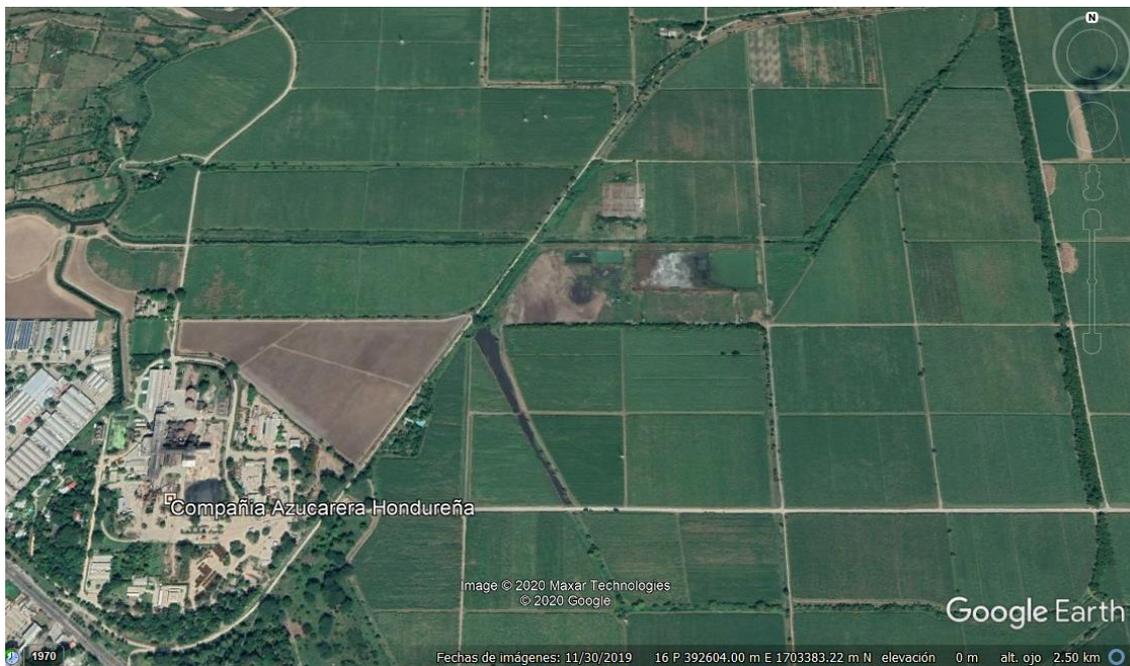


Ilustración 13- IMAGEN SATELITAL CAHSA

Fuente: (Google, 2020)

1. Producción

Para el año 2018 CAHSA cuenta con uno de los ingenios más modernos y eficientes de Centroamérica, contando con una capacidad para molienda de 16,000 toneladas cortas de caña por día y una producción de 3 millones de quintales de azúcar al año. (CAHSA, 2018)

2. Consumo y generación de energía

El consumo de energía en CAHSA se distribuye en dos partes principales, el ingenio azucarero y el riego del cultivo de caña de azúcar.

El ingenio Santa Matilde es sustentado por su propia generación de energía, esta es generada a partir de bagazo de caña en calderas de biomasa. Se generan 80,431,930 kWh, de los cuales 38,565,130 kWh los consume el ingenio y los restantes 41,866.830 kWh se los vende a la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) para consumo nacional (CAHSA, 2018). Por esto se puede decir que el consumo de energía durante la zafra (o hasta que se acabe la biomasa almacenada) no representa un gasto económico

El sistema de riego para el cultivo de caña de azúcar no se ve beneficiado directamente por la generación de energía del ingenio, esto es porque no hay manera de distribuir la energía hasta la ubicación de los distintos sistemas de bombas ya que el área total de cultivo de CAHSA es de aproximadamente 14,000 Ha y además los sistemas de bombas de riego se encuentran ubicados por fincas, estas fincas están ubicadas a kilómetros entre sí.

CAHSA al vender energía a la ENEE se ve beneficiada en el pago de energía eléctrica por el consumo de estos sistemas de riego, pero no es suficiente como para evitar que siga siendo un gasto muy elevado para la empresa.

5. CAMBIO CLIMÁTICO

En las últimas décadas la temperatura promedio anual en Centroamérica se ha incrementado y la precipitación se ha reducido. Los pronósticos climáticos según los Centros de Estudios Atmosféricos Regionales e Internacionales indican que tales tendencias se mantendrán, e incluso se acentuarán en los próximos años.

Diversos escenarios climáticos proyectan para Centroamérica aumentos en la temperatura entre 2°C y 5°C hacia el año 2,100. Mientras la precipitación podría reducirse entre

el 15 – 50%. La producción agrícola Centroamericana al ser altamente dependiente del clima está siendo fuertemente afectada.

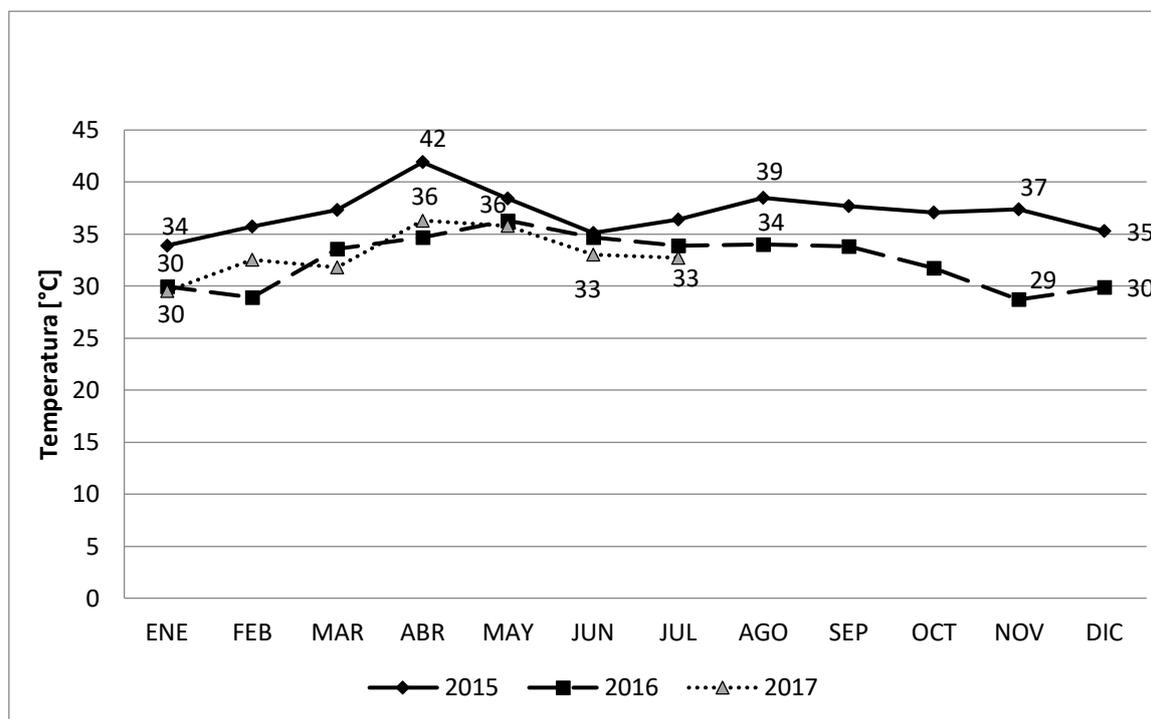


Ilustración 14- TEMPERATURAS MÁXIMA POR MESES: 2015, 2016 Y 2017

Fuente: (CAHSA, 2017), datos de estación meteorológica en CAHSA

1. Fenómeno “El Niño”

También llamado ENSO (“EL NIÑO Southern Oscillation”), es un cambio que ocurre en el Océano Pacífico Ecuatorial. Contribuye a cambios significativos del clima como un aumento de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y una disminución de los vientos alisios en el lado este del océano Pacífico. y concluye abarcando a la totalidad del planeta. Generalmente inicia en el período comprendido entre diciembre y marzo.

También existe un fenómeno inverso, conocido como “La Niña”, este se caracteriza por presentar TSM más frías de lo normal, un aumento de los vientos alisios en el este del océano Pacífico y períodos de sequía. (Maturana, Bello, & Manley, 2004)

2. Evapotranspiración

Es cuando los procesos de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo suceden simultáneamente, este proceso representa una pérdida fundamental de agua, a partir de la cual se calcula la necesidad de agua de los cultivos. (FAO, 1998)

6. EL RIEGO EN LA INDUSTRIA AZUCARERA

La caña de azúcar es uno de los cultivos con mayor demanda de agua, es indispensable para su crecimiento la alta disponibilidad de agua. Según (Sela, 2020) el rendimiento de la caña de azúcar puede llegar a reducirse en un 70% por culpa de la sequía, estas sequías en conjunto con otras afecciones por el cambio climático aumentan las tasas de evapotranspiración lo que reduce el agua disponible en el suelo. Por esto es que para la producción de caña de azúcar existe una gran necesidad de riegos eficientes y extensos.

1. Sistemas de riego

Los sistemas de riego ofrecen ventajas que hacen posible racionalizar el agua que se tiene disponible. Un sistema de riego eficiente debe ser estudiado en base al tipo de vegetación que lo ocupa, la forma en que debe distribuirse el agua, las características hídricas del suelo y su orografía.

1. Sistema de riego por gravedad

Este sistema de riego se caracteriza por la forma de distribuir el agua en el suelo, esta distribución que aprovecha el efecto de la gravedad logra que al fluir el agua por las zanjas también se filtra en el suelo. La ventaja de su uso es su simple infraestructura, su poca necesidad de mantenimiento y además no ocupan bombas para su distribución por lo que su gasto energético es nulo o mínimo.

Estos sistemas presentan baja eficiencia por lo que ocupan más agua para poder satisfacer las necesidades hídricas del cultivo (Chávez, Fuentes, & Ventura Ramos, 2010). A pesar de que se han hecho esfuerzos por mejorar su eficiencia se ha concretado que sigue siendo el sistema de riego menos eficiente. Otro problema importante que presenta este sistema es la dificultad para su control y automatización.

2. Sistema de riego por aspersión

Este sistema de riego consiste en la distribución de agua sobre el cultivo simulando la lluvia por medio de dispositivos emisores de agua llamados aspersores, estos generan un chorro de agua pulverizada que riega de forma uniforme y en 360° (Stacey, 2012). El terreno cubierto por el chorro del aspersor dependerá del diámetro de emisión de este. Ya que funcionan a presión ocupan un sistema de bombeo.

Presentan ventajas al adaptarse a distintas dosis de riego que se puedan necesitar, además son fáciles de automatizar y permiten el tratamiento con fertilizantes. De forma contraria, sus desventajas son que pueden llegar a presentar uniformidad en su reparto por la acción de fuertes vientos y además tiene un alto coste de inversión inicial, mantenimiento y funcionamiento (consumen mucha energía si no están bien diseñados). Este sistema puede ser Semifijo y móvil.

3. Sistema de riego por goteo

Este sistema de riego se basa en suministrar el agua de manera lenta y uniforme a baja presión, esto a través de mangueras de plástico que se localizan al pie del cultivo. Este sistema va integrado en la propia tubería.

Según (Shock & Welch, 2013) el riego por goteo reduce en gran medida el uso del agua, son muy eficientes, esto debido a que logran poco escurrimiento y evaporación. Con este sistema se reducen las enfermedades en el cultivo, esto porque se disminuye el contacto con el follaje, tallos y frutos. Un buen diseño de este sistema puede aumentar el rendimiento y calidad de la cosecha, este sistema también permite el uso de fertilizantes en simultaneidad con el agua. Además, estos sistemas son apropiados para terrenos de topografía irregular, donde hay altas tasas de infiltración y donde el agua es escasa.

Este sistema se puede llegar a ver perjudicado por aguas calizas y sedimentos, por lo que ocupa un buen filtrado y mantenimiento. Además, es un sistema que necesita de una inversión inicial alta.

7. RIEGO EN CAHSA

En CAHSA actualmente el sistema de riego que más predomina es el sistema de aspersión, seguido por el sistema de goteo que en los últimos años ha empezado a sustituir principalmente al sistema por goteo, pero también al sistema de aspersión.

En 1970 se construyen los primeros proyectos para sistemas de riego por gravedad, proyectos que se siguieron ampliando hasta el año 2000, donde ya empiezan a instalarse más sistemas de riego por aspersión y se empieza el proyecto a nivel nacional del riego por goteo (CAHSA, 2012).

Ante la situación actual del cambio climático CAHSA ha buscado cambiar el sistema de riego en suelos marginales que se han regado por gravedad y aspersion, a sistemas de riego por goteo. Por lo que se desarrolla un macroproyecto, con el objetivo de optimizar el uso y gestión sostenible del agua y aumentar la productividad de caña de azúcar (CAHSA, 2017).

8. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica se basa en el uso de celdas solares, que se fabrican con materiales semiconductores (diodos de silicio) y que, debido al efecto fotovoltaico, generan corriente eléctrica cuando la radiación solar incide sobre ellos. (Carta González, Calero Pérez, Colmenar Santos, & Castro Gil, 2009)

El conjunto de celdas solares se llama panel solar y este al estar formado por diodos genera corriente directa. Para generar corriente alterna se debe hacer uso de un inversor solar, este transformará la corriente directa en corriente alterna.

1. Radiación solar

La radiación solar es la energía que proviene del Sol. En el núcleo solar se producen reacciones nucleares que libran una gran cantidad de energía. Esta energía viaja a la Tierra en forma de ondas electromagnéticas.

Los datos de radiación para sistemas solares fotovoltaicos se representan en unidades (kWh/m²). Las estimaciones directas de la energía solar también se suelen expresar con las unidades (W/m²). (U.S. Department of Energy, 2013)

2. Cálculo de cantidad de paneles solares para un sistema fotovoltaico

Para calcular el número de paneles que se requieren en un sistema solar fotovoltaico se usa la ecuación 1.

$$\# \text{ Paneles FV} = \frac{\text{Energía demandada}}{\text{Irradiación anual} \times \text{Cap. nom. FV} \times \text{Pérdidas}}$$

Ecuación 1- FÓRMULA CANTIDAD DE PANELES FOTOVOLTAICOS.

Fuente: (Gamboa, 2014)

9. CONCEPTOS FINANCIEROS

Para la investigación es importante entender los principales conceptos financieros que serán analizados.

1. Costo-Beneficio (B/C)

El análisis de costo-beneficio es la herramienta financiera que relaciona los costos y beneficios de un proyecto para poder conocer su rentabilidad. Se considera rentable si su valor es mayor a 1, no rentable si es menor o igual a 1. El B/C es igual al cociente del Valor actual de los ingresos entre el Valor actual de los costos.

2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

“Es aquel valor relativo que iguala al valor actual el valor actual de la corriente de ingresos con el valor actual de la corriente de egresos estimados” (Altuve, 2004). En otras palabras, es la tasa de rentabilidad de una inversión o el porcentaje de beneficio (o pérdida) que tendrá una inversión.

3. Valor Actual Neto (VAN)

“Es la actualización de los flujos netos de fondos a una tasa conocida y que no es más que el costo medio ponderado de capital, determinado sobre la base de los recursos financieros programados con antelación” (Altuve, 2004). En otras palabras, es actualizar los cobros y pagos de una inversión para conocer cuánto se ganará o perderá con ella.

4. Costo nivelado de la energía (LCOE)

El LCOE tiene como unidades [\$/kWh] y se calcula con la siguiente ecuación.

$$LCOE = \sum_{n=0}^m \frac{\text{Costo capital}_m + O\&M_m + \text{Costo combustible}_m}{\text{Energía generada}_m}$$

Ecuación 2- FÓRMULA LCOE.

Fuente: (Villatoro Flores, Furubayashi, & Nakata, 2015)

5. Rentabilidad

Es una medida de las utilidades en comparación con la inversión realizada, las utilidades netas y con los fondos del propietario (Morillo, 2001).

IV. METODOLOGÍA

En este capítulo se dará a conocer las técnicas y procedimientos para la definición y análisis de las variables de investigación.

1. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Las variables representan factores y conceptos que influyen en el resultado de una investigación.

1. VARIABLE DEPENDIENTE

Es la variable principal de la investigación, esta depende de la influencia de las variables independientes.

2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Son los fenómenos o conceptos que se evalúan para conocer su influencia, incidencia o afectación sobre la variable dependiente y como su nombre indica no dependen de ningún otro fenómeno o concepto.

En la ilustración 15 se mostrarán como estas variables afectan a la variable dependiente de la investigación.

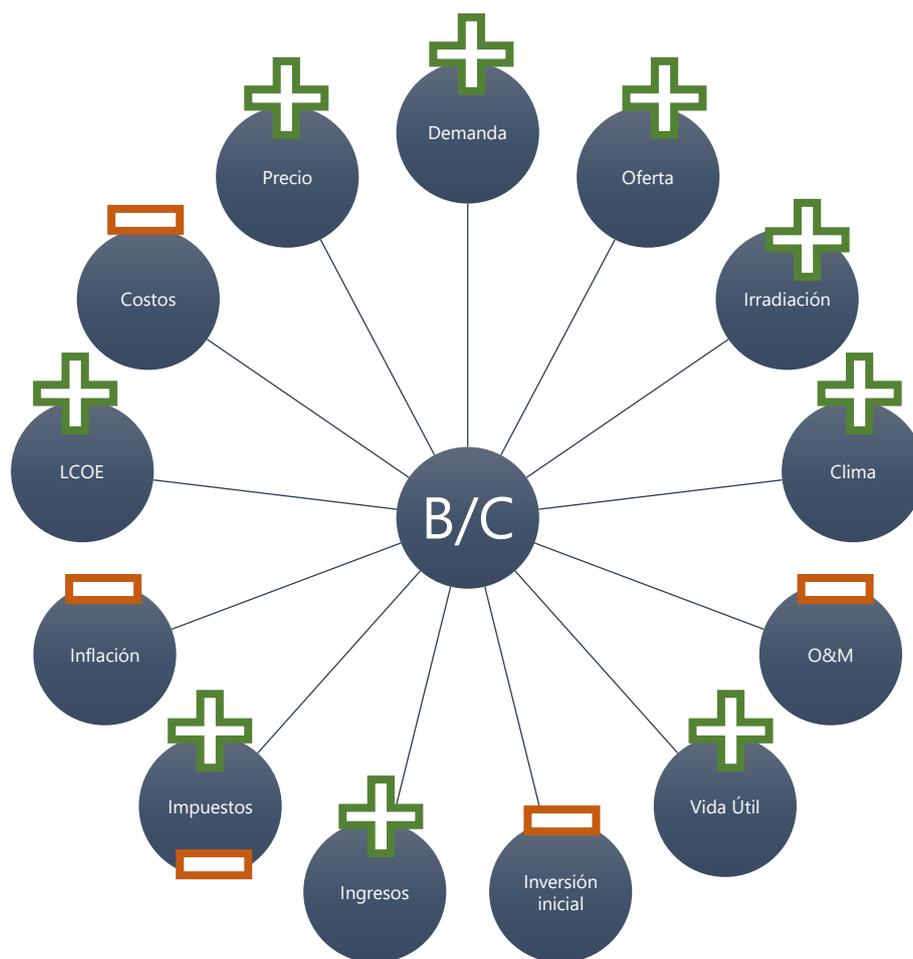


Ilustración 15- VARIABLES DEPENDIENTE E INDEPENDIENTES.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se explican brevemente las variables:

B/C: Es la variable dependiente de la investigación. El análisis de costo-beneficio se utilizará con el fin de conocer la rentabilidad. Se considera rentable si su valor es mayor a 1, no rentable si es menor o igual a 1. Se analizará como cociente.

Demanda: Afecta positivamente debido a que es la principal razón por la que se puede decir que habrá un beneficio al cubrir esta demanda con energía alternativa producida localmente. Se analizará en unidades de [kWh].

Oferta: Afecta positivamente debido a que se espera entregar una gran cantidad de energía lo que se traducirá como un alto ahorro de energía. Se analizará en unidades de [kWh].

Irradiación: Afecta positivamente debido a que este recurso es abundante en finca "El Modelo" y será el principal factor para una alta generación de energía. Se analizará en unidades de [kWh/m²].

Clima: Afecta positivamente debido a que las condiciones climáticas en la zona son de beneficio a la generación solar. Se analizará en unidades de temperaturas [°C] y por la altura del agua recogida en una superficie plana [mm].

O&M: Afecta negativamente debido a que representan un gasto recurrente por el uso del sistema de generación de energía. Se analizará en unidades de [Lps.] o [\$].

Vida útil: Afecta positivamente debido a que los sistemas solares presentan una larga vida útil, lo que se traduce como un ahorro de un energía y dinero durante todo este tiempo. Se analizará en [años].

Inversión inicial: Afecta negativamente al representar en el desarrollo de este proyecto un costo elevado para la empresa. Se analizará en unidades de [Lps.] o [\$].

Ingresos: Afecta positivamente ya que representarán directamente el ahorro por el uso del sistema de generación. Se analizará en unidades de [Lps.] o [\$].

Impuestos: Afecta positivamente debido a que en los primeros diez años la generación de energía renovable está exenta de impuestos, aunque al mismo tiempo, afecta negativamente ya que a partir del año once representa un gasto recurrente. Se analizará como un porcentaje.

Inflación: Afecta negativamente debido a que aumenta porcentualmente las utilidades a través del tiempo por lo que concluye en que los flujos reales disminuyen. Se analizará como un porcentaje.

Costos: Afecta negativamente debido a que un costo representa un valor negativo en el flujo de caja y esto disminuye los ingresos o ahorros. Se analizará en unidades de [Lps.] o [\$].

Precio: El precio de la energía afecta positivamente debido a que es la cantidad de dinero por consumo de energía que se está ahorrando. Se analizará en unidades de [Lps. /kWh] o [\$/kWh].

2. HIPÓTESIS

Las hipótesis son suposiciones realizadas en base a información conocida para iniciar una investigación.

1. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La implementación de un sistema solar fotovoltaico para cubrir el consumo energético de las bombas de riego en la finca "El Modelo", analizando los gastos por inversión inicial y el valor actual de los ingresos para 25 años, representará un B/C mayor a 1.

2. HIPÓTESIS NULA

La implementación de un sistema solar fotovoltaico para cubrir el consumo energético de las bombas de riego en la finca "El Modelo", analizando los gastos por inversión inicial y el valor actual de los ingresos para 25 años, representará un B/C menor o igual a 1.

3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Se darán a conocer todas aquellas herramientas, técnicas o instrumentos que se utilizarán para analizar los datos que serán usados en la investigación.

Entrevistas: se realizarán entrevistas a expertos de CAHSA para la solicitud y obtención de datos e información cuantitativa de utilidad para la investigación.

HOMER GRID: combina información de ingeniería y economía en un modelo integral. Rápidamente realiza cálculos complejos para comparar múltiples componentes y resultados de diseño, identificar puntos en los que las diferentes tecnologías se vuelven rentables y considerar varias opciones para minimizar el riesgo del proyecto y reducir los gastos de energía. (HOMER Energy, 2020)

Helioscope: "Desarrollamos Helioscope para simplificar el proceso de diseño, ingeniería y venta de paneles solares. Al combinar herramientas de diseño simplificadas con simulaciones de energía bancarias, Helioscope ayuda a los instaladores solares a mejorar sus velocidades de diseño en 5x-10x" (Folsom Labs, 2019).

PVsyst: es un software para el dimensionamiento óptimo y simulación de sistemas fotovoltaicos (PVsyst, 2020). Es el programa más utilizado y aceptado a nivel mundial.

Meteonorm: “Meteonorm es una combinación única de fuentes de datos fiables y modelos de cálculo de alta calidad. Meteonorm produce años típicos precisos y representativos para cada ubicación en el planeta. Puede elegir entre más de 30 parámetros meteorológicos diferentes” (Meteotest, 2020).

Google Earth: “Explora imágenes de satélite de todo el planeta, así como edificios 3D e imágenes en relieve de cientos de ciudades” (Google, 2020).

Excel: “Microsoft Excel es el programa de hojas de cálculo líder en el sector y una herramienta avanzada de análisis y visualización de datos” (Microsoft, 2020).

4. DISEÑO METODOLÓGICO

El enfoque de investigación será la forma en la cual se aproximará al objeto de estudio. Para la investigación se utilizará un enfoque cuantitativo, esto debido a que el objeto de estudio de la investigación se basa en variables y fenómenos cuantificables.

Para la investigación se utilizará un estudio no experimental, en este tipo de estudio no se manipulan las variables, se observan en su contexto natural para luego ser analizadas. Es sistemático y empírico.

Se utilizará un diseño longitudinal, en este diseño se analizan los cambios en las variables a lo largo del tiempo, como estas se relacionan entre sí y como consiguen información en distintos períodos de tiempo.

El alcance resulta de la revisión de la literatura y la perspectiva del estudio. Estos dependen de los objetivos planteados por el investigador. El alcance descriptivo tiene como fin especificar las características y dimensiones de distintos procesos y fenómenos.

La investigación se analizará en base a tres distintos análisis: estudio de mercado, análisis técnico y análisis económico.

El esquema del diseño metodológico se observa en la ilustración 16.

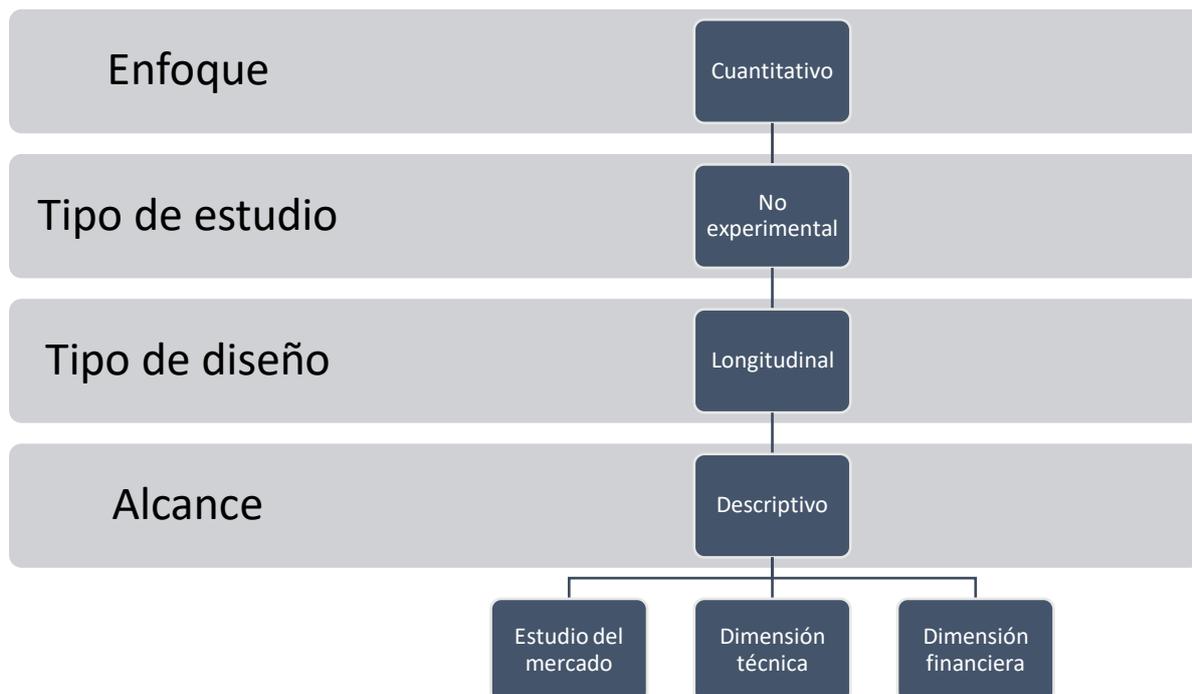


Ilustración 16- DISEÑO DE ESQUEMA METODOLÓGICO.

Fuente: Elaboración propia.

5. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En esta sección se presenta un resumen del proceso tomado para la comprobación de la hipótesis de investigación, este proceso se observa en la ilustración 17.

Para iniciar la investigación se realizó una extensa búsqueda de información, a través de lecturas de tesis, informes de proyectos similares, teoría relacionada, entrevistas a expertos para la recolección de datos cuantitativos o conseguir el permiso para la toma de estos.

Como siguiente paso, a través de la definición de objetivos y el marco teórico establecido se definen las variables de investigación, siendo la variable dependiente directamente enfocada al objetivo general de la investigación.

A continuación, se realizó un análisis del perfil de carga de la finca "El Modelo", información que fue tomada de los datos del medidor eléctrico de la finca, este sería el primer paso para el pre-dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Al mismo tiempo, como otro paso importante del pre-dimensionamiento se realizaba un estudio meteorológico con los datos de un año típico, esto con ayuda del programa Meteonorm.

Seguido de lo anterior, se realiza el pre-dimensionamiento el cual fue la base del diseño fotovoltaico, diseño que incluye la elección final del panel solar, su inclinación y su azimut, la elección del inversor solar, el área escogida para el proyecto y la estructura para paneles en terreno a utilizar.

Ya con el sistema diseñado se realizó una comparación de simulaciones con dos programas especializados, Helioscope y PVSyst. De estas simulaciones se obtiene principalmente la proporción de rendimiento y la proyección de generación de energía incluyendo pérdidas.

Tras obtener la simulación se inicia el análisis financiero del proyecto, en el cual se realiza un presupuesto de costos directos para la inversión inicial, se calcula el LCOE y a partir de estos se calcula un flujo de ahorros en comparación a la situación actual y el retorno de la inversión.

Para finalizar, en base a los resultados obtenidos se calcularon los valores actuales de los costos de inversión y los ahorros, para así poder definir el B/C de este proyecto y concluir si este proyecto es rentable o no.

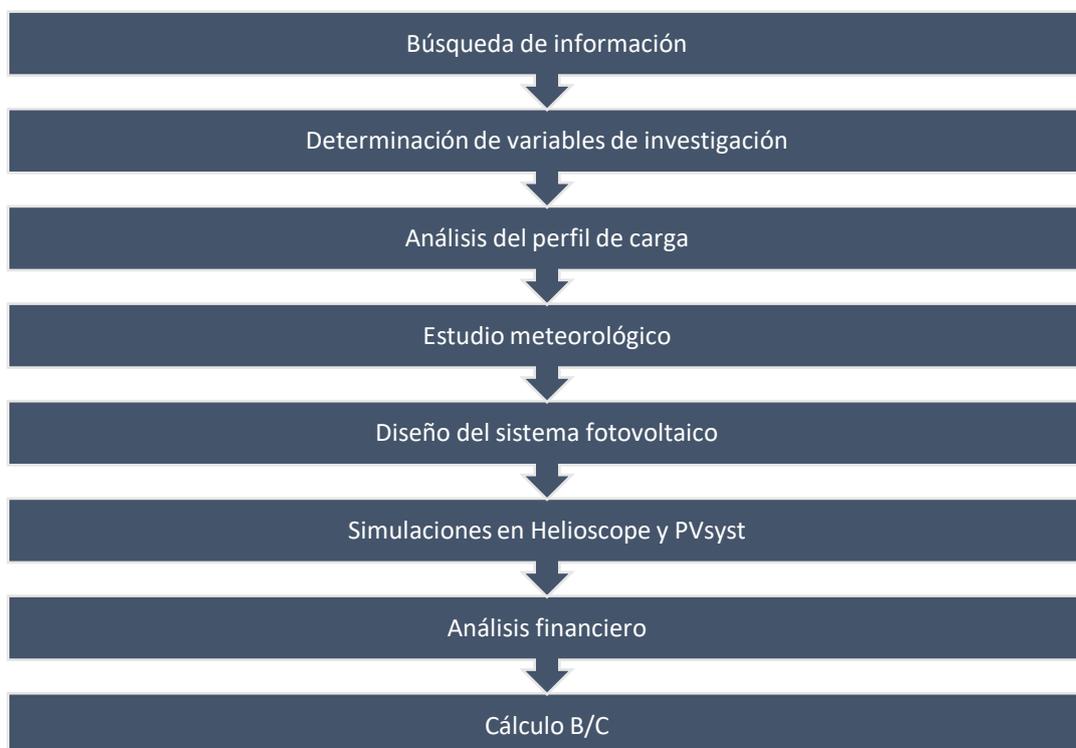


Ilustración 17- METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.

Fuente: Elaboración propia.

6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación, se muestran las actividades que se realizarán para completar la investigación en un período de 10 semanas.

Tabla 2- CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

#	Actividades	Semana												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Definir el problema de investigación	■												
2	Analizar la situación actual		■	■										
3	Recopilación de teorías de sustento			■										
4	Determinar el alcance de la investigación				■									
5	Definir el enfoque y la hipótesis					■								
6	Realizar cálculos con la información obtenida						■	■						
7	Diseñar y simular el sistema fotovoltaico							■	■					
8	Realizar el análisis financiero								■	■				
9	Definir conclusiones y recomendaciones									■	■			
10	Entrega y presentación final												■	

Fuente: Elaboración propia.

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentarán el estudio del mercado, el análisis técnico y el análisis financiero.

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La implementación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red en la Finca "El Modelo", tendrá como principal objetivo disminuir los gastos derivados del alto consumo de energía eléctrica de las bombas de riego.

El sistema solar representará un gran ahorro durante el día y se verá apoyado de la conexión a red durante la noche.

2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA

El mercado de la investigación se basa en el perfil de carga del consumo de energía eléctrica de la finca "El Modelo", el cual es analizado a partir de la información tomada del contador de consumo energía durante todo el 2019. Actualmente el consumo promedio mensual es de 90,600 [kWh].

Para este análisis se estudiará el consumo de un día promedio, el cual se puede observar en la ilustración 18. Este análisis se realizó con ayuda de HOMER Grid.

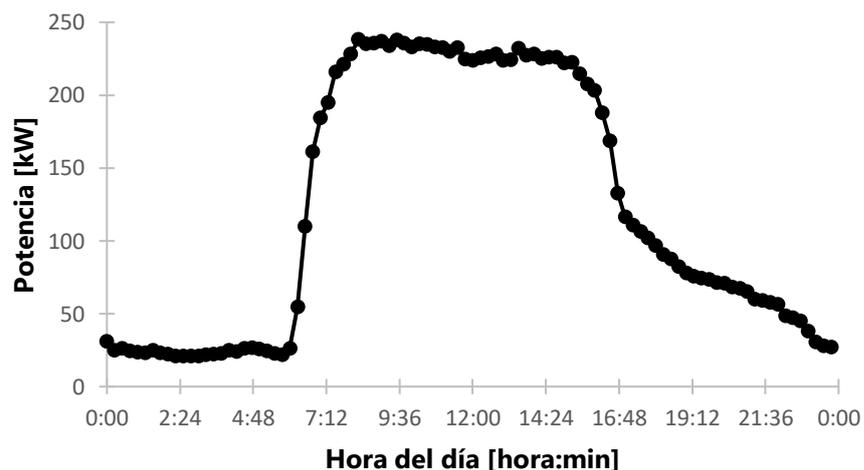


Ilustración 18- PERFIL DE CARGA DE UN DÍA PROMEDIO.

Fuente: Elaboración propia.

En base a la información del perfil de carga, se puede concluir que la mayor parte del consumo de energía en finca "El Modelo" es durante el período de recepción de radiación solar, representando 73.92% del consumo total, esto lógicamente es de gran beneficio para un sistema solar.

El comportamiento de este alto consumo de energía durante el día es debido a que el sistema de riego automatizado está programado para activar las bombas de agua cuando el cultivo presenta necesidad del recurso hídrico, esta necesidad se ve aumentada durante el período de recepción de radiación solar en consecuencia de las altas temperaturas y la evapotranspiración.

3. ANÁLISIS TÉCNICO

En esta sección se presentan los detalles de las simulaciones meteorológicas, diseños del sistema fotovoltaico y las simulaciones del mismo.

1. ESTUDIO METEOROLÓGICO

A través del uso del programa Meteonorm (Meteotest, 2020) se analizaron los datos de meteorología en la ubicación del sistema fotovoltaico: finca azucarera "El Modelo", Villanueva, Honduras. La información obtenida representa datos de radiación solar global y difusa, duración promedio de esta radiación solar, temperaturas promedio y cantidad promedio de precipitaciones.

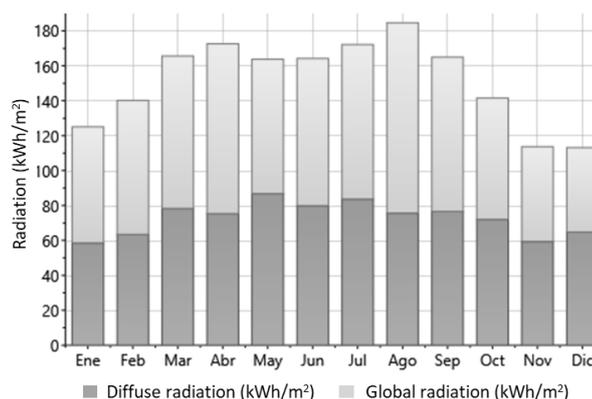


Ilustración 19- RADIACIÓN MENSUAL PROMEDIO.

Fuente: (Meteotest, 2020)

En la ilustración 19 se puede observar que la radiación global mensual en la localidad suele estar en promedio de 150 [kWh/m²] y anualmente llegando a poco más de 1,800 [kWh/m²].

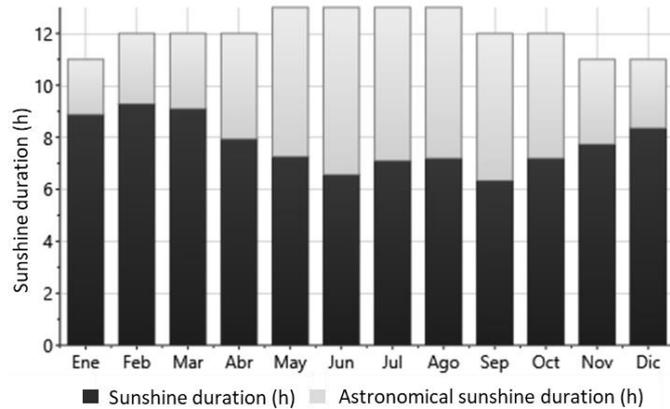


Ilustración 20- DURACIÓN DE INSOLACIÓN

Fuente: (Meteotest, 2020)

En la ilustración 20 se observa la duración promedio de la radiación solar por mes, la cual suele estar superando las 7 horas diarias y llegando hasta 9 horas diarias.

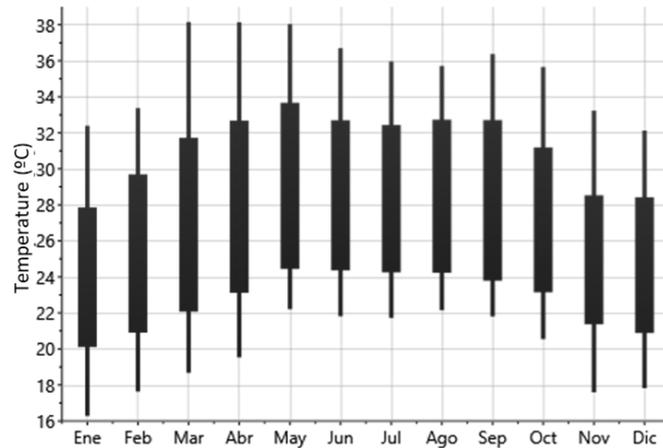


Ilustración 21- TEMPERATURA PROMEDIO.

Fuente: (Meteotest, 2020)

Analizando la ilustración 21 se puede apreciar que la temperatura promedio en la zona suele ser en promedio de 27 °C, aunque puede llegar hasta arriba de los 35 °C en algunos meses.

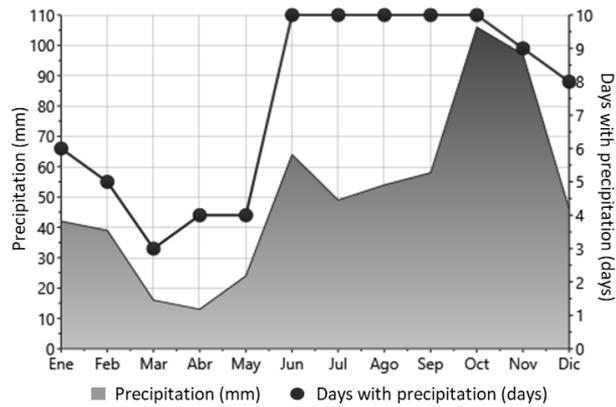


Ilustración 22- PRECIPITACIÓN MENSUAL PROMEDIO.

Fuente: (Meteotest, 2020)

Respecto a la ilustración 22 se puede analizar que durante la primera mitad del año las lluvias son bastante escasas mientras que en la segunda mitad estas se vuelven más normales, aunque no abundantes.

2. DISEÑO DEL SISTEMA

Se decidió que, para este sistema fotovoltaico conectado a red, los paneles a utilizar serían los Canadian Solar "CS3U-380MS" (Canadian Solar Inc., 2018) los cuales son monocristalinos y poseen una potencia de 380 [W]. Esta decisión es tomada con base a los paneles solares que se encuentran a la venta en el mercado local, presenta una eficiencia de 19.15% y considerando que a pesar de que existen modelos con mayor potencia, como algunos modelos de 405 [W], el proyecto presenta un área bastante amplia por lo que es más conveniente el uso de paneles de bajo costo por watt, aunque tengan menor potencia.

Así que tomando en cuenta la información meteorológica obtenida, la potencia nominal del panel solar escogido, el consumo anual de energía eléctrica en la finca, 1,087.2 [MWh/año] y además el porcentaje de consumo de energía durante el período de insolación, se calcula el número de paneles solares que aproximadamente se ocuparán para una producción de energía que podrá cubrir el 60% (en base al análisis del perfil de carga) de la demanda energética de la finca "El Modelo", este cálculo se estableció con el uso de la ecuación mostrada en el capítulo 3.4. Dando como resultado 1,239 paneles, siendo esta cantidad sólo la base para el diseño real que se presentará a continuación.

1. Simulación Helioscope

El área tomada para la ubicación del sistema solar fue un lote de la finca seleccionado estratégicamente por su cercanía al sistema de bombeo, además por su fácil acceso, la inexistencia de obstáculos que generen sombras al sistema y además que el terreno ya es propiedad de la industria azucarera. En la ilustración 23 se podrá ver el área y el diseño proyectado para la instalación del sistema solar, esta representa 4,431 [m²] y poseerá 1,248 paneles con una potencia de 380 [W] lo que se traduce en una potencia total de 474.2 [kW]. El sistema por su localización utilizará un azimut de 180° respecto al sur y además los paneles estarán inclinados a 10°. El diseño fue realizado con Helioscope (Folsom Labs, 2020).

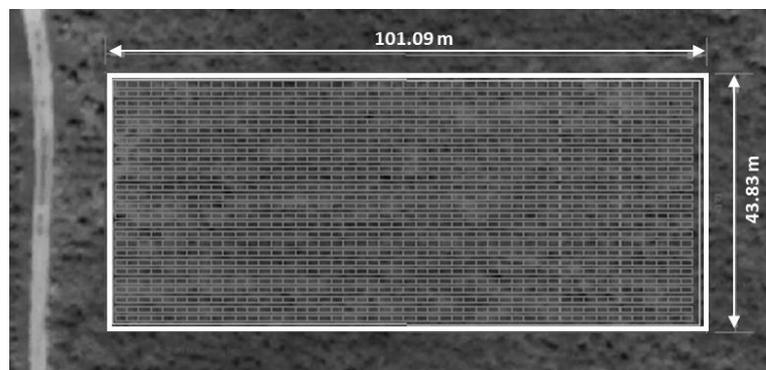


Ilustración 23- ÁREA Y DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Fuente: (Folsom Labs, 2020)

Tras definir este diseño, se escogió el inversor a utilizar tomando en cuenta que el sistema de bombas necesita una conexión trifásica de 480 [V] y así mismo, inversores que se encuentran en el mercado local. En base a las consideraciones anteriores se escogen los inversores Huawei "SUN2000-36KTL" (Huawei, 2019), los cuales poseen una potencia nominal de 36 [kW] y un voltaje de salida de 480 [V] trifásico. Para el sistema se usarán 11 inversores, consiguiendo un factor DC/AC igual a 1.2, por lo que la potencia total en AC será de 396 [kW].

Con el diseño completado Helioscope genera el reporte de simulación, calculando así la generación de energía mensual y las pérdidas que el sistema pueda presentar y además calcula la proporción de rendimiento (PR), siendo esta del 80.7%. En la ilustración 24 se aprecia la gráfica de generación de energía esperada mensualmente para el primer año, en la que se puede apreciar una generación promedio de 59.64 [MWh] mensuales y una generación anual total de 715.6 [MWh].

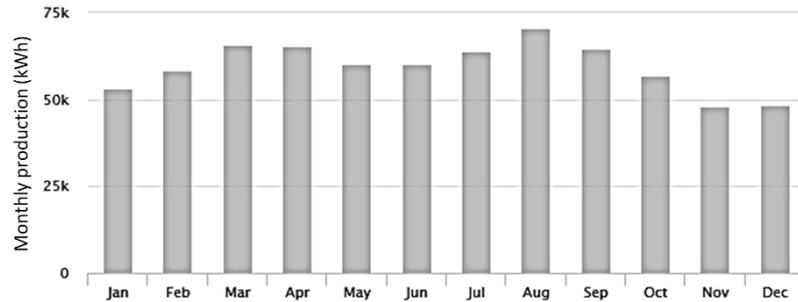


Ilustración 24- PRODUCCIÓN DE ENERGÍA HELIOSCOPE.

Fuente: (Folsom Labs, 2020)

En la ilustración 25 se pueden apreciar las pérdidas tomadas en cuenta por la simulación de Helioscope, en la que se puede apreciar que las pérdidas totales serían de 20.9%, siendo las pérdidas por temperatura las más altas con 8.6%.

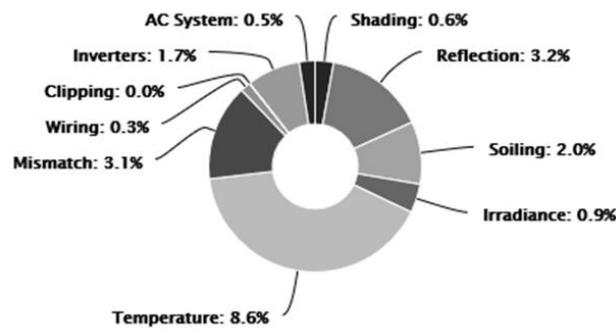


Ilustración 25- PÉRDIDAS HELIOSCOPE.

Fuente: (Folsom Labs, 2020)

2. Simulación PVsyst

También se realizó el diseño y simulación del sistema fotovoltaico con el programa PVsyst (PVsyst, 2020) para la comparación de resultados y además porque este es el programa más aceptado internacionalmente.

La simulación fue realizada con el mismo modelo de paneles solares, inversores, el mismo azimut e inclinación. Esta simulación ha presentado al igual que Helioscope que la proporción de rendimiento es igual a un 80% y en la ilustración 26 se puede apreciar la producción de energía mensual, lo que representa una producción de energía anual de 686.2 [MWh].

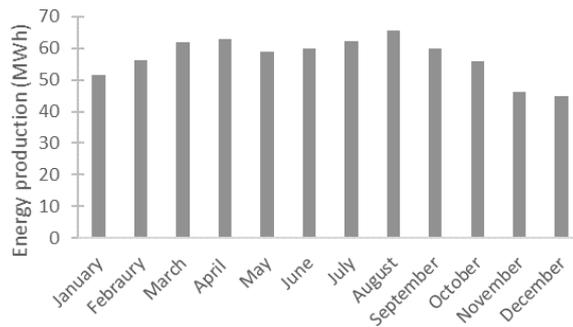


Ilustración 26- PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PVSYST.

Fuente: (PVsyst, 2020)

Además, PVsyst nos presenta su diagrama de pérdidas en el cual se ven dos claras diferencias respecto al de Helioscope, con una consideración modificada de 5% de pérdidas por suciedad tomada debida a que en el sector el cultivo de la caña de azúcar generará una suciedad considerable, y además como se puede ver en la ilustración 27 PVsyst considera una mayor pérdida por temperaturas con un 10.11%, la suma de todas las pérdidas es igual a 21.87%.

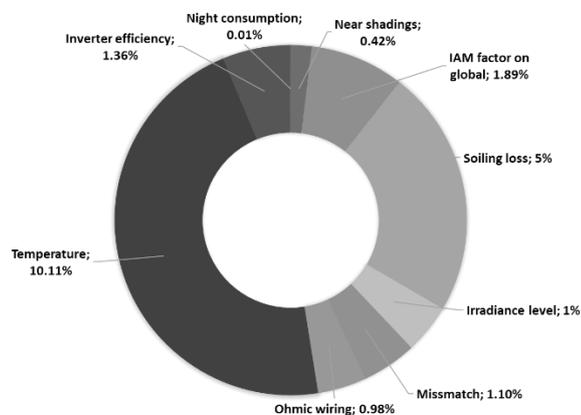


Ilustración 27- PÉRDIDAS PVSYST.

Fuente: (PVsyst, 2020)

Comparando las dos simulaciones se puede apreciar que no difieren mucho, la diferencia está en que PVsyst toma 1% más de perdidas en el sistema y esto puede dar respuesta a por qué la generación anual de PVsyst es inferior por 30 [MWh]. Para el resto del análisis se utilizará la información obtenida de la simulación de PVsyst, esto debido a que es el programa más confiable internacionalmente.

3. ANÁLISIS ECONÓMICO

El fin de este análisis es calcular el costo-beneficio (B/C) del proyecto, por lo que se hará una proyección de ahorros para los 25 años de vida útil del proyecto, comparando el gasto que representa el consumo de energía con la tarifa actual y el gasto que representaría el consumo de energía con el LCOE, el cual se calculó con la ecuación mencionada en el capítulo 3.5.

Para el análisis financiero se tomaron en cuenta los siguientes parámetros presentados en la Tabla 3.

Tabla 3- PARÁMETROS PRINCIPALES

Potencia instalada [kWp]	474.20
Costo de capital específico [\$/kWp]	1,060.87
Tasa de inflación anual [%]	1.5% (La Gaceta, 2013)
Incremento en tarifa anual [%]	1.5%
Costos por O&M [\$/kW*año]	\$19.00 (NREL, 2016)
Costo capital total [\$]	\$504,060.08
Tasa impositiva/ISR [%]	25%
Seguros [\$]	\$6,365.20
Vida útil del proyecto [años]	25
Reinversión en año 13 [\$]	44,000
Energía generada al año [kWh/año]	686,120
Depreciación anual [%]	0.5%
Tasa de cambio Dólar a Lempira	24.97
Tarifa energética actual [Lps/kWh]	5.1945 (CREE, 2019)
Tarifa energética actual [\$/kWh]	0.2080

Fuente: Elaboración propia.

El valor del costo capital total representa la inversión inicial del proyecto y se calculó con el presupuesto presentado en la Tabla 4.

Tabla 4- Presupuesto de inversión en Dólares.

Paneles fotovoltaicos	\$118,560.00
Inversores solares	\$44,000.00
Cableado eléctrico	\$99,936.25
Estructura de soporte	\$83,496.50
Obra civil	\$60,000.00
Sistema de puesta a tierra	\$51,615.17
Combiners	\$7,473.00
Controladores	\$16,989.10
Sistema de medición	\$5,393.06
Mano de obra	\$16,597.00
Total	\$504,060.08

Fuente: Elaboración propia.

Con estos parámetros se calculó el LCOE del sistema fotovoltaico, siendo igual a 0.0425 [\$/kWh] y a partir de este valor se calculó el ahorro que representa el uso del sistema y tras esto el valor actual de este ahorro, además a partir del flujo acumulado del ahorro se pudo establecer la gráfica del período de recuperación de la inversión, como se puede apreciar en la ilustración 28 la inversión se recuperará en poco más de 3 años y un ahorro total de 3.6 millones de Dólares, lo que representa 90.3 millones de lempiras. Estos valores fueron calculados en un libro de Excel.

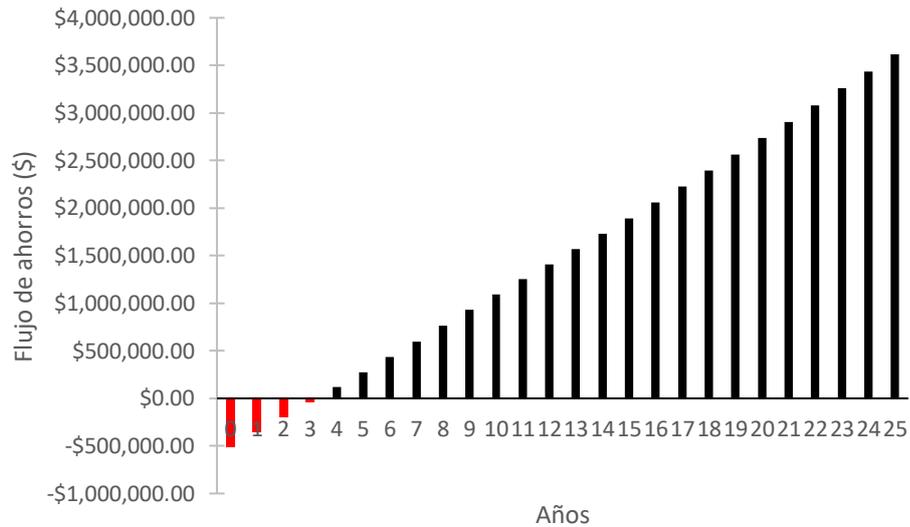


Ilustración 28- FLUJO ACUMULADO DE LOS AHORROS.

Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 29 se presentan graficados los ahorros que significaría el proyecto año con año. Comparando con gastos anuales promedio de \$230,714.91 y teniendo un ahorro anual promedio de \$162,607.24, a excepción del décimo tercer año donde será necesaria la reinversión en inversores teniendo en este año un ahorro de \$104,811.87.

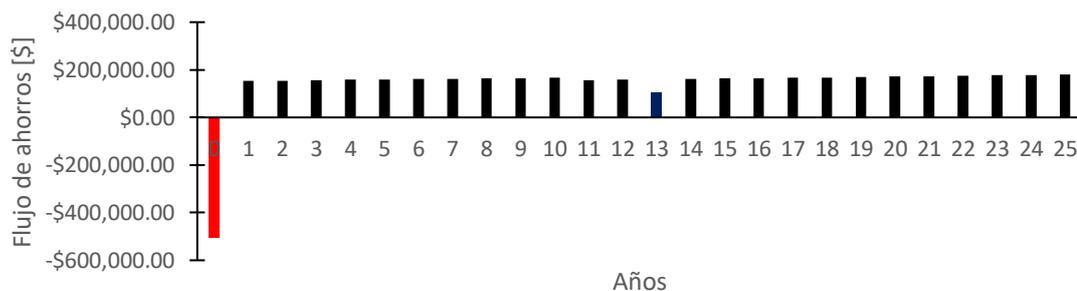


Ilustración 29- PROMEDIO DE AHORROS ANUALES

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos ya se logró calcular los valores actuales de los ahorros (VAI) y el valor actual de la inversión inicial (VAC), estos a su vez permitieron el cálculo del B/C, el cual es igual al cociente del VAI entre el VAC. Además, se calculó la tasa interna de retorno (TIR), como se puede apreciar en la Tabla 5.

Tabla 5- RESULTADOS.

Retorno de la inversión [años]	3.09
VAI [\$]	\$992,345.13
VAC [\$]	\$555,603.44
B/C [-]	1.79
TIR [%]	31%

Fuente: Elaboración propia.

El valor del B/C se puede interpretar de dos maneras, si el cociente es menor o igual a 1 se considera que el proyecto no es rentable y al contrario si el cociente es mayor que 1 se considera el proyecto rentable. Siendo en este caso el cociente igual a 1.79 se comprueba que el proyecto es rentable.

VI. CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones al objetivo general de la investigación y además a la hipótesis de investigación.

La hipótesis nula fue rechazada al calcular que el B/C de la instalación de este sistema fotovoltaico tiene un cociente de 1.79, y como este valor es mayor a 1, se puede concluir que el proyecto es rentable y su ahorro representa un beneficio sobre el costo por inversión inicial.

El consumo de las bombas de agua de un sistema de riego para caña de azúcar es mayormente durante el día, superando el 70% del consumo diario, por lo que los sistemas solares son de gran beneficio para este sector.

El sistema fotovoltaico fue diseñado para satisfacer la demanda de energía con una potencia instalada en paneles solares de 474.2 [kW] una potencia en inversores equivalente a 396 [kW] y una penetración solar del 62%, que representa una generación de 686.2 [MWh].

Con base en una inversión de \$504,060.08, la generación de energía y costos de O&M a 19 [\$/kW*año] se calculó para el sistema fotovoltaico diseñado un LCOE de 0.0425 [\$/kWh] el cual es menor a la tarifa actual a la que se compra la energía, 0.2080 [\$/kWh].

El sistema fotovoltaico en finca "El Modelo" representará un ahorro en 25 años equivalente a 3.6 millones de dólares, lo que supone un 62% de ahorro respecto a los gastos que significaría seguir con el sistema actual y además se concluye que la inversión podrá ser recuperada en 3.08 años.

VII. RECOMENDACIONES

Ya que se rechaza la hipótesis nula debido a que el B/C es mayor 1, se recomienda instalar el sistema de generación fotovoltaico planteado en finca "El Modelo".

Con base en que el consumo de los sistemas de riego supera el 70% durante la insolación se recomienda realizar este mismo análisis en otras fincas que presenten grandes consumos por su irrigación.

Debido a la potencia analizada de 474.2 [kW] se recomienda no sobrepasar esta, ya que esto aumentará los costos por inversión y aumentarían los excedentes en la generación.

Se recomienda mantener los costos por inversión y O&M en valores cercanos a los establecidos, esto para mantener los valores del LCOE proyectados.

Si se instala el proyecto se recomienda realizar el mantenimiento necesario al sistema fotovoltaico para así mantener la generación de energía proyectada, y así conseguir los ahorros esperados.

VIII. TRABAJO FUTURO

Cualquier industria azucarera o incluso otras agroindustrias con altos consumos por bombas de riego eléctricas pueden aprovechar los sistemas solares fotovoltaicos para ahorrar el gasto económico que representa dicho consumo.

Realizar un análisis de cambio de tarifa eléctrica, actualmente CAHSA se encuentra bajo una tarifa de baja tensión, pero un cambio a media tensión puede significar un ahorro mensualmente en todas las fincas que presentan un sistema de bombeo eléctrico. Además comparar si seguirá siendo rentable un sistema fotovoltaico en esta tarifa.

BIBLIOGRAFÍA

- Altuve, J. G. (2004). *El uso del valor actual neto y la tasa interna de retorno para la valoración de las decisiones de inversión*. Merida, Venezuela.
- APAH. (2017). *Memoria de sostenibilidad*. San Pedro Sula.
- APAH. (2020). *Ingenios: Asociación de Productores de Azúcar de Honduras*. Obtenido de Asociación de Productores de Azúcar de Honduras: <http://azucar.hn/ingenios/>
- CAHSA. (2012). *Avances en el riego de la industria azucarera*. Villanueva.
- CAHSA. (2017). *Avances de riego por goteo en CAHSA*. Villanueva.
- CAHSA. (2018). *Manual de Calidad*. Villanueva.
- Canadian Solar Inc. (2018). *KuMax HIGH EFFICIENCY MONO PERC MODULE CS3U-375|380|385|390|395MS*. Ontario.
- Carroquino, J., García, N., Gargallo, P., García-Ramos, F., & Yago, J. (2017). *Energía renovable e hidrógeno generados in situ para riego y movilidad en viñedos*. Zaragoza.
- Carta González, J., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. (2009). *Centrales de energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables*. Madrid: Pearson.
- Cervera, J., Del Castillo, A., Montero, J., Tarjuelo, J., & Moreno, M. (2018). *Modelo para la gestión del riego por goteo mediante energía solar fotovoltaica*. Madrid.
- Cezar de Lima, A., Camargo-Guimarães-Jr., S., R. Fietz, C., & R. Camacho, J. (2008). *Flujo energético e indicadores de eficiencia en pivotes centrales de riego*. São Paulo.
- Chávez, C., Fuentes, C., & Ventura Ramos, E. (2010). *Uso eficiente del agua de riego por gravedad utilizando yeso y poliacrilamida*. Querétaro: Terra Latinoamericana.
- CONADESUCA, & UNICIDER. (2018). *Caña de azúcar, estadísticas nacionales de producción*. Ciudad de México: SAGARPA.
- CREE. (2019). *Historial de tarifas*. Obtenido de <https://www.cree.gob.hn/historial-de-tarifas/>
- Dancé Caballero, J., & Sáenz Yaya, D. (2016). *La cosecha de caña de azúcar: impacto económico, social y ambiental*. FCCEF-USMP. Lima, Perú: FCCEF-USMP.
- Facultad de Ingeniería, UNCUYO. (2007). *Industria azucarera*. Mendoza, Argentina: UNCUYO.

FAO. (1998). *Evapotranspiración del cultivo*.

FAOSTAT. (2018). *Estadísticas de producción de la caña de azúcar y remolacha azucarera*.

Folsom Labs. (2019). *Nuestra historia: Folsom Labs*. Obtenido de Folsom Labs:
<http://www.folsomlabs.com/about>

Folsom Labs. (2020). *Annual Production Report produced by Kenneth Stwolinsky*.

Folsom Labs. (2020). *Helioscope*. Obtenido de <https://www.helioscope.com/>

Gamboa, Y. X. (2014). *Sistema de riego por goteo con módulos solares*. Alajuela.

Google. (2020). Obtenido de Google Earth: <https://www.google.com/intl/es/earth/>

Google Maps. (2020). *Google maps*. Obtenido de <https://www.google.es/maps/@15.4031429,-88.0047545,17z>

GRUPO CAHSA. (2015). *Compañía Azucarera Hondureña S.A.* Obtenido de
<http://www.cahsa.hn/>

HOMER Energy. (2020). Obtenido de HOMER Grid:
<https://www.homerenergy.com/products/grid/>

Huawei. (2019). *SUN2000-36KTL Smart String Inverter*.

Hukseflux. (2016). *SR20-T2 pyranometer product certificate*. Delft.

Kung, C. A. (2002). *La ingeniería de los alimentos y el proceso de refinación del azúcar*. Iquitos, Perú.

La Gaceta. (1 de Agosto de 2013). Decreto No. 130-2013. *La Gaceta*, pág. 6.

Maturana, J., Bello, M., & Manley, M. (2004). *Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur*. Valparaíso.

Meteotest. (2020). Obtenido de Meteonorm Software: <https://meteonorm.com/>

Microsoft. (2020). Obtenido de Microsoft Excel: <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/excel>

Morillo, M. (2001). *Rentabilidad financiera y reducción de costos*. Mérida, Venezuela.

NREL. (Febrero de 2016). *Distributed Generation Renewable Energy Estimate of Costs*. Obtenido de <https://www.nrel.gov/analysis/tech-lcoe-re-cost-est.html>

- OCDE/FAO. (2017). "Azúcar", en *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026*. París: OECD Publishig.
- Omaña Álvarez, J., Antonio de Castro, & Medrano Villalón. (2015). *Bombeo solar de alta potencia con presión y caudal constante. Caso de éxito*. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- PVsystem. (2020). *Informe de simulación* .
- PVsystem. (2020). *PVsystem*. Obtenido de <https://www.pvsystem.com/>
- Sela, G. (8 de Enero de 2020). *Manejo de riego en caña de azúcar*. Obtenido de Cropaia: <https://croipaia.com/es/blog/riego-cana-de-azucar/>
- Shock, C., & Welch, T. (2013). *El riego por goteo: Una introducción*. Oregon: Oregon State University.
- Stacey, M. B. (2012). *Diseño de un Sistema de Riego por Aspersión* . Quito.
- U.S. Department of Energy. (21 de Agosto de 2013). *OFFICE of ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY*. Obtenido de Solar Radiation Basics: <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/solar-radiation-basics>
- Villatoro Flores, H., Furubayashi, T., & Nakata, T. (2015). *Decentralised electricity generation system based on local renewable energy sources in the Honduran residential sector*. Sendai.

ANEXOS

ANEXO 1 – SIMULACIÓN HELIOSCOPE



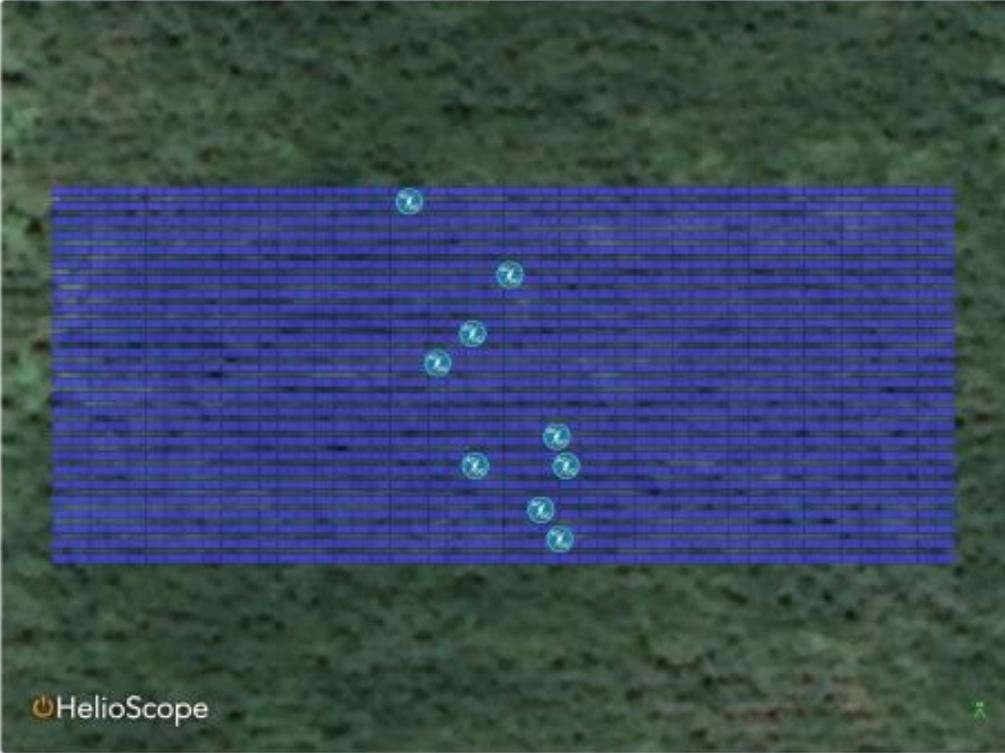
Condition Set												
Description	Condition Set 2											
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, meteonorm (meteonorm)											
Solar Angle Location	Metro Lat/Lng											
Transposition Model	Periz Model											
Temperature Model	Sandia Model											
Temperature Model Parameters	Rack Type	a	b	Temperature Delta								
	Fixed Tilt	-3.56	-0.075	3°C								
	Flush Mount	-2.81	-0.0435	0°C								
	East-West	-3.56	-0.075	3°C								
	Carport	-3.56	-0.075	3°C								
Soiling (%)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Irradiance Variance	5%											
Cell Temperature Spread	4° C											
Module Wiring Range	-2.5% to 2.5%											
AC System Derate	0.55%											
Module Characterizations	Module	Uploaded By	Characterization									
	CSU-380MS-P0 (Canadian Solar)	Folsom Labs	Spec Sheet Characterization, PAM									
Component Characterizations	Device	Uploaded By	Characterization									
	SUN2000-39KTL (Huawei)	Folsom Labs	Spec Sheet									

Components		
Component	Name	Count
Inverters	SUN2000-39KTL (Huawei)	11 (296.0 kW)
Strings	10 AWG (Copper)	72 (3,763.0 m)
Module	Canadian Solar, CSU-380MS-P0 (380W)	1,248 (474.2 kW)

Wiring Zones			
Description	Combiner Poles	String Size	Stringing Strategy
Wiring Zone	12	13-21	Along Racking

Field Segments									
Description	Racking	Orientation	Tilt	Admuth	Intrarow Spacing	Frame Size	Frames	Modules	Power
Field Segment 1	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	10°	180°	0.8 m	1x1	1,248	1,248	474.2 kW

Detailed Layout



ANEXO 2 – SIMULACIÓN PVSYS

PVSYS 7.0.1		10/06/20	Página 1/6						
Sistema conectado a la red: Parámetros de simulación									
Proyecto : Finca El Modelo									
Sitio geográfico	Las Cañadas	País	Honduras						
Situación	Latitud 15.35° N	Longitud	-87.96° W						
Tiempo definido como	Hora Legal Zona horaria UT-6	Altitud	61 m						
Datos meteo:	Las Cañadas	Meteonorm 7.3 (2000-2009), Sat=100% - Sintético							
Variante de simulación : El Modelo sim1									
	Fecha de simulación	10/06/20 23h32							
Parámetros de simulación	Tipo de sistema	Sistema de construcción							
Orientación plano de colector	Inclinación 10°	Azimut	0°						
Modelos usados	Transposición Perez	Difuso Circunsolar	Perez, Meteonorm separado						
Horizonte	Horizonte libre								
Sombreados cercanos	Cálculo eléctrico detallado (según el diseño de módulo)								
Necesidades del usuario :	Carga ilimitada (red)								
Características del conjunto FV									
Módulo FV	Si-mono	Modelo	CS3U-380MS-FG						
Base de datos PVSyst original		Fabricante	Canadian Solar Inc.						
Número de módulos FV		En series	19 módulos						
Número total de módulos FV	núm. de módulos	En paralelo	66 cadenas						
Potencia global del conjunto	Nominal (STC)	Unidad Nom. Potencia	380 Wp						
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)	U mpp	En cond. de funcionam.	432 kWp (50°C)						
Área total	Área del módulo	1 mpp	631 A						
		Área celular	3931 m ²						
Inversor		Modelo	SUN2000_36KTL 480Vac						
Base de datos PVSyst original		Fabricante	Huawei Technologies						
Características	Unidad Nom. Potencia	36.0 kWca	Voltaje de funcion. 200-1000 V						
	Potencia máx. (=>50°C)	40.0 kWca							
Paquete de inversores	Potencia total	396 kWca	Proporción Pnom 1.20						
	Núm. de inversores	11 unidades							
Total	Potencia total	396 kWca	Proporción Pnom 1.20						
Factores de pérdida del conjunto FV									
Pérdidas de suciedad del conjunto		Fracción de pérdida	5.0 %						
Factor de pérdida térmica	Uc (const) 20.0 W/m ² K	Uv (viento)	0.0 W/m ² K / m/s						
Pérdida óhmica en el cableado	Res. conjunto global 18 mΩ	Fracción de pérdida	1.5 % en STC						
Pérdida de calidad módulo		Fracción de pérdida	-0.3 %						
Pérdidas de desajuste de módulo		Fracción de pérdida	1.0 % en MPP						
Pérdidas de desajuste de cadenas		Fracción de pérdida	0.10 %						
Efecto de incidencia (IAM): Perfil definido por el usuario									
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
	1.000	1.000	1.000	0.990	0.990	0.970	0.920	0.760	0.000

Print Evaluation mode

Simulación sin garantía. Solo el texto en inglés es la referencia.

Sistema conectado a la red: Resultados principales

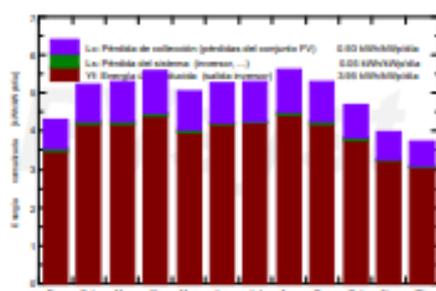
Proyecto : **Finca El Modelo**Variante de simulación : **El Modelo sim1**

Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	Sistema de construcción
Sombreados cercanos	Cálculo eléctrico detallado	(según el diseño de módulo)
Orientación campo FV	Inclinación	10° azimut 0°
Módulos FV	Modelo	CS3U-380MS-FG Pnom 380 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	1254 Pnom total 477 kWp
Inversor	Modelo	SUN2000_36KTL 480Vac Pnom 36.0 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	11.0 Pnom total 396 kW ac
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)	

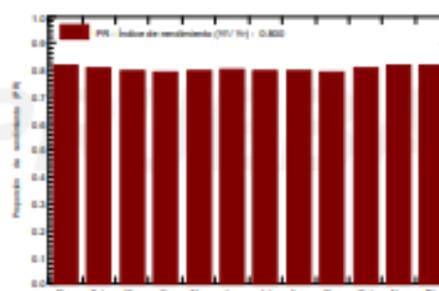
Resultados principales de simulación

Producción del sistema **Energía producida 686.2 MWh/año** Prod. específica 1440 kWh/kWp/año
 Proporción de rendimiento (PR) 80.03 %

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 477 kWp



Proporción de rendimiento (PR)



El Modelo sim1

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR proporción
Enero	121.4	55.08	23.72	133.0	123.6	52.35	51.65	0.815
Febrero	136.7	61.17	24.94	146.2	136.1	56.84	56.06	0.804
Marzo	158.9	74.04	26.61	163.9	152.4	62.92	62.02	0.794
Abril	167.3	83.83	27.60	166.6	154.5	63.83	62.95	0.793
Mayo	160.3	88.63	28.76	155.8	144.4	59.80	58.97	0.794
Junio	163.9	88.88	28.24	157.2	145.6	60.63	59.81	0.798
Julio	170.6	81.25	28.17	164.1	152.1	63.11	62.25	0.796
Agosto	176.5	86.77	28.36	173.7	161.0	66.61	65.71	0.794
Septiembre	155.8	70.66	28.03	158.6	147.5	60.69	59.83	0.791
Octubre	138.6	77.20	27.01	145.4	135.1	56.48	55.71	0.804
Noviembre	110.7	63.57	24.71	119.1	110.5	46.86	46.22	0.814
Diciembre	105.7	59.49	24.42	115.4	107.1	45.62	45.00	0.818
Año	1766.6	890.56	26.72	1799.3	1670.0	695.72	686.20	0.800

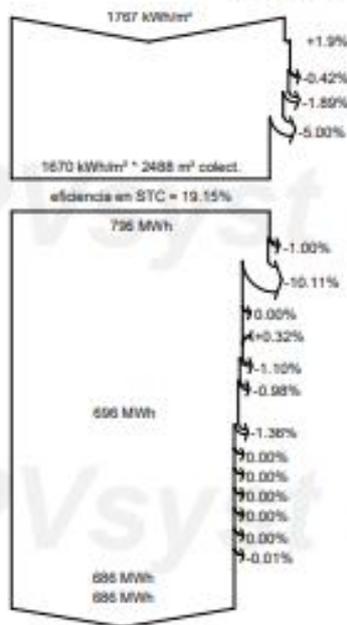
Leyendas: GlobHor Irradiación horizontal global
 DiffHor Irradiación difusa horizontal
 T_Amb T amb.
 GlobInc Global incidente plano receptor
 GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
 EArray Energía efectiva a la salida del conjunto
 E_Grid Energía inyectada en la red
 PR Proporción de rendimiento

Sistema conectado a la red: Diagrama de pérdida

Proyecto : **Finca El Modelo**
 Variante de simulación : **El Modelo sim1**

Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	Sistema de construcción
Sombreados cercanos	Cálculo eléctrico detallado	(según el diseño de módulo)
Orientación campo FV	Inclinación	10° azimut 0°
Módulos FV	Modelo	CS3U-380MS-FG Pnom 380 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	1254 Pnom total 477 kWp
Inversor	Modelo	SUN2000_36KTL 480Vac Pnom 36.0 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	11.0 Pnom total 396 kW ac
Necesidades del usuario	Carga limitada (red)	

Diagrama de pérdida durante todo el año



- Irradiación horizontal global**
- Global incidente plano receptor**
- Sombreados cercanos: pérdida de irradiancia
- Factor IAM en global
- Factor de pérdida de suciedad
- Irradiancia efectiva en colectores**
- Conversión FV
- Conjunto de energía nominal (con efíc. STC)**
- Pérdida FV debido al nivel de irradiancia
- Pérdida FV debido a la temperatura.
- Sombreados: pérdida eléctrica cálculo detallado de módulos
- Pérdida calidad de módulo
- Pérdidas de desajuste, módulos y cadenas
- Pérdida óhmica del cableado
- Energía virtual del conjunto en MPP**
- Pérdida del inversor durante la operación (eficiencia)
- Pérdida del inversor sobre potencia inv. nominal
- Pérdida del inversor debido a la corriente de entrada máxima
- Pérdida de inversor sobre voltaje inv. nominal
- Pérdida del inversor debido al umbral de potencia
- Pérdida del inversor debido al umbral de voltaje
- Consumo nocturno
- Energía disponible en la salida del inversor**
- Energía inyectada en la red**

PVSYST 7.0.1		10/06/20	Página 6/6
Sistema conectado a la red: Evaluación P50 - P90			
Proyecto : Finca El Modelo			
Variante de simulación : El Modelo sim1			
Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	Sistema de construcción	
Sombreados cercanos	Cálculo eléctrico detallado	(según el diseño de módulo)	
Orientación campo FV	Inclinación	10°	azimut 0°
Módulos FV	Modelo	CS3U-380MS-FG	Pnom 380 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	1254	Pnom total 477 kWp
Inversor	Modelo	SUN2000_36KTL 480Vac	Pnom 36.0 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	11.0	Pnom total 396 kW ac
Necesidades del usuario	Carga limitada (red)		
Evaluación del pronóstico de probabilidad de producción			
La distribución de probabilidad del pronóstico de producción del sistema para diferentes años, depende principalmente en los datos meteo utilizados para la simulación, y depende de las siguientes opciones:			
Fuente de datos meteo		Meteonorm 7.3 (2000-2009), Sat=100%	
Datos meteo	Tipo	No definido	Año 1995
Desviación especificada	Desv. anual desde promedio	3 %	
Variabilidad año a año	Varianza	0.5 %	
La varianza de la distribución de probabilidad también depende de algunas incertidumbres de los parámetros del sistema			
Desviación especificada/modelado/parámetros del módulo FV		1.0 %	
Incertidumbre eficiencia inversor		0.5 %	
Incertidumbres de suciedad y desajuste		1.0 %	
Incertidumbre de degradación		1.0 %	
Variabilidad global (meteo y sistema)	Varianza	1.9 %	(suma cuadrática)
Probabilidad de producción anual	Variabilidad	12.8 MWh	
	P50	686.2 MWh	
	P90	669.7 MWh	
	P95	665.1 MWh	
Distribución de probabilidad			
PVsyst Evaluation mode		Evaluación en garantía. Solo el título en negro es la referencia.	