



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FASE I**

**COSTO BENEFICIO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA REDUCIR EL CONSUMO ELÉCTRICO DE LOS CUARTOS FRÍOS Y MÁQUINAS DESCREMADORAS EN UNA PLANTA PROCESADORA DE LÁCTEOS EN MEZAPITA, ATLÁNTIDA**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO EN ENERGÍA**

**PRESENTADO POR:**

**2164124 CARLOS EDUARDO NÚÑEZ RODRÍGUEZ**

**ASESOR: PHD. HÉCTOR FERNANDO VILLATORO FLORES**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA;**

**OCTUBRE, 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 y mi novia por su incondicional apoyo y motivación a lo largo de mis estudios.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco...

Al Ing. Héctor Villatoro por su apoyo, orientación y disposición en la realización de este trabajo, por su dedicación y su enseñanza.

A la Ing. Alicia Reyes 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 planta procesadora de lácteos, como alternativa para reducción de consumo de electricidad de la red. El equipo de mayor consumo en la planta procesadora de lácteos son los cuartos fríos y máquinas descremadoras. Este equipo en conjunto representa un consumo de energía de 138.82 (MWh/año), un gasto aproximado de 590,161.51 lempiras o \$24,085.96 al año. El estudio se basa en tres análisis: mercado, técnico y financiero. El análisis de mercado representa el perfil de demanda actual, este perfil muestra que el 74% de la energía es consumida por el conjunto de equipos mencionados anteriormente. El análisis técnico se basa en la interpretación de datos meteorológicos, como la radiación global anual que representa 1,700 [kWh/m<sup>2</sup>] y una duración de insolación diaria de aproximadamente 9 horas, con una potencia instalada de 92.3 [kW] y la comparación de su simulación de funcionamiento en Helioscope, que presenta una generación de energía anual de 104 [MWh]. El análisis financiero tiene como fin calcular el B/C, por lo que se calcula un costo nivelado de la energía (LCOE), y gracias a este factor se establece una proyección del valor actual de ahorros, los cuales se comparan con el valor actual de los costos por inversión inicial. 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 cost-benefit (B/C) case study of the implementation of a photovoltaic solar system in a dairy processing plant, as an alternative to reducing electricity consumption of the grid. The most consuming equipment in the dairy processing plant is cold rooms and skim machines. This equipment together represents an energy consumption of 138.82 (MWh/year), an approximate expense of 590,161.51 lempiras or \$24,085.96 per year. The study is based on three analyses: market, technical and financial. Market analysis represents the current demand profile, this profile shows that 74% of the energy is consumed by the set of equipment mentioned above. Technical analysis is based on the interpretation of meteorological data, such as annual global radiation representing 1,700 [kWh/m<sup>2</sup>] and a daily insolation duration of approximately 9 hours, with an installed power of 92.3 [kW] and comparison of its helium operating simulation, which features an annual power generation of 104 [MWh]. The financial analysis is intended to calculate B/C, so a tiered energy cost (LCOE) is calculated, and this factor establishes a projection of the current value of savings, which are compared to the current value of initial investment costs. These values are related to establish the B/C of the project, which will mean the profitability of the project.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción .....	1
II.	Planteamiento del Problema .....	3
2.1.	Precedentes del Problema.....	3
2.2.	Definición del Problema .....	3
2.3.	Justificación.....	3
2.4.	Preguntas de Investigación.....	4
2.5.	Objetivos .....	4
2.5.1.	Objetivo General.....	4
2.5.2.	Objetivos Específicos.....	4
III.	Marco Teórico.....	6
3.1.	Análisis de la Situación Actual.....	6
3.1.1.	Análisis de Macroentorno .....	6
3.1.2.	Microentorno .....	7
3.1.3.	Entorno Nacional.....	8
3.2.	Teorías del sustento.....	9
3.2.1.	Procesador de lácteos en el sector artesanal.....	9
3.2.2.	DESCREMADORA SURYODAY (AE-29) .....	11
3.2.3.	Cámara Mediana de Refrigeración 57-98 M3 .....	12
3.2.4.	Energía solar fotovoltaica.....	12
3.2.5.	Radiación solar .....	13
3.2.6.	Cálculo de cantidad de módulos solares para un sistema fotovoltaico.....	13
3.3.	Conceptos financieros.....	13

3.3.1.	Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	13
3.3.2.	Valor Actual Neto (VAN).....	14
3.3.3.	Rentabilidad.....	15
IV.	Metodología.....	16
4.1.	Variables de investigación.....	16
4.1.1.	Variable Dependiente .....	16
4.1.2.	Variable Independiente.....	16
4.2.	Hipótesis.....	19
4.2.1.	Hipótesis de investigación .....	19
4.2.2.	Hipótesis nula .....	19
4.3.	Técnicas e instrumentos.....	19
4.4.	Diseño metodológico.....	20
4.5	Cronograma de Actividades.....	22
V.	Análisis y resultados.....	23
5.1.	Descripción del sistema.....	23
VI.	Análisis de demanda.....	24
6.1.	análisis técnico .....	25
6.1.1.	Estudio meteorológico .....	25
6.2.	Diseño del sistema.....	28
6.2.1.	Diseño del sistema.....	28
6.2.2.	Número Mínimo y Máximo de Módulos Fotovoltaicos en una Cadena .....	30
VII.	Análisis económico.....	33
VIII.	Análisis Ambiental.....	38

IX.	Conclusiones.....	39
X.	Recomendaciones.....	41
XI.	Bibliografía.....	42

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Descremadora Suryoday Modelo (AE-29).....	11
Ilustración 2.	Cámara Mediana de Refrigeración utilizado en Lácteos Kaby.....	12
Ilustración 3.	Diseño de Esquema Metodológico .....	21
Ilustración 4.	Perfil de carga eléctrica para Lácteos Kaby para un día laboral.....	24
Ilustración 5.	Consumo de Energía [kWh].....	25
Ilustración 6.	Radiación Mensual Promedio.....	26
Ilustración 7.	Duración de Insolación.....	26
Ilustración 8.	Temperatura Promedio .....	27
Ilustración 9.	Precipitación Mensual Promedio.....	27
Ilustración 10.	Área y Diseño del Sistema Fotovoltaico.....	29
Ilustración 11.	Producción de Energía Helioscope .....	30
Ilustración 12.	Perdidas Helioscope .....	30
Ilustración 13.	Flujo Acumulado de Ahorros.....	35
Ilustración 14.	Promedio de Ahorros Anuales.....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Litros de Leche Procesados por Departamento.....	10
Tabla 2. Parámetros Principales .....	33
Tabla 3. Presupuesto de Inversión en Dólares .....	34
Tabla 4. Resultados.....	36

## I. INTRODUCCIÓN

Las procesadoras de lácteos artesanales requieren del suministro de energía eléctrica y agua para la realización de sus actividades. El proceso por el cual pasa la leche, como las máquinas descremadoras, bombas y cuartos fríos, representan un consumo eléctrico significativo del total consumido por la empresa.

Se pudo observar por medio de la lectura de varios artículos, proyectos en los cuales se ha implementado el uso de la energía fotovoltaica por medio de módulos solares para generar un ahorro económico y contrarrestar sus consumos eléctricos. En la ciudad de Tarragona se llevó a cabo el estudio del aprovechamiento de 18 kW de energía solar para la producción eléctrica para compensar el coste de la factura eléctrica de un nuevo edificio de la zona (Sevil, 2010). La propuesta de un sistema solar fotovoltaico que genere mensualmente 38.81 kWh para reducir consumo eléctrico en el municipio de Quebradanegra, en el país de Colombia (Barrera & Castilla, 2018). En la provincia de Morona Santiago, en la selva ecuatoriana, se llevó a cabo un proyecto de generación fotovoltaica para reducir las emisiones de dióxido de carbono y utilizar un mecanismo de desarrollo limpio, con una producción de 40,950 kWh mensual (Sanchez, 2014). El hospital San Cristóbal en la ciudad de Bogotá, se estudia el costo/beneficio de la implementación de tecnologías de energía con módulos fotovoltaicos con una potencia instalada de 18.6 kW para reducir su consumo eléctrico (Sanabria, 2010). Embotelladora de Sula, implementó un sistema solar fotovoltaico para reducir el consumo eléctrico que generan mensualmente. Tienen una capacidad instalada de 3MW (Banco Interamericano de Desarrollo, 2015).

En Lácteos Kaby, planta procesadora de lácteos ubicada en Mezapita, Atlántida, los mayores consumos eléctricos provienen de dos equipos eléctricos los cuales son los cuartos fríos y las máquinas descremadoras, el cual juntos representan un 74% del consumo total de la empresa. Por lo que para reducir el gasto económico que genera el consumo energético, se diseñará un sistema solar fotovoltaico para la empresa el cual será sobre el techo de esta. Este equipo en

conjunto representa un consumo de energía de 138.82 (MWh/año), un gasto aproximado de 590,161.51 lempiras o \$24,085.96 al año.

Se harán diseños y simulaciones con HOMER Grid y Helioscope 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.

El resto del documento está estructurado en 10 capítulos comenzando con la introducción. El capítulo 2 Se comenzará con una búsqueda exhaustiva de información para poder determinar cuáles serán las variables de investigación para el proyecto a estudiar. En el capítulo 3 se presenta teoría de sustento la cual muestra proyectos de generación fotovoltaica que ayudaran como guía para el estudio a realizar. En el capítulo 4 encontraremos las fórmulas a utilizar para encontrar las variables financieras y del diseño del sistema fotovoltaico. En el capítulo 5 encontramos definición de las variables de investigación y la hipótesis planteada del proyecto. En el capítulo 6 se llevará a cabo un perfil de carga el cual fue realizado por un levantamiento de datos por medio de una visita técnica realizada, para así poder determinar el equipo eléctrico, horarios en los cuales permanecen trabajando y las inclinaciones del techo de la planta para poder comenzar con el diseño del sistema. Se realizaron estudios meteorológicos para poder determinar las horas de sol en promedio durante un año y las precipitaciones. En el capítulo 7 y 8, una vez terminado el diseño en el cual fueron utilizados software tales como Helioscope y Homer Grid, podemos obtener un análisis financiero y poder determinar si el proyecto es técnica y económicamente viable para llevarlo a cabo. Para finalizar, en el capítulo 9 y 10, se realiza un análisis ambiental en el cual se podrá determinar cuántas emisiones de CO<sub>2</sub> se dejarán de emitir a la atmósfera durante la vida útil del proyecto, y encontramos las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el siguiente capítulo se describe cómo se llevará a cabo cada etapa del problema a resolver, comenzando con el costo de la energía eléctrica en Honduras, que siempre está en ascenso. Conoceremos los altos costos de las facturas eléctricas que llegan mensualmente a la empresa Lácteos Kaby ubicado en Mezapita, en el departamento de Atlántida.

### **2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA**

Lácteos Kaby es una empresa procesadora de lácteos situada en Mezapita, departamento de Atlántida, la cual puede procesar 40,000 litros de leche diarios, que equivalen a 13,440,000 litros de leche procesados al año.

La planta procesadora de lácteos es de modo artesanal, siendo su mayor maquinaria los cuartos fríos y las descremadoras. Cuenta con siete descremadoras, dos cuartos fríos con dos evaporadores cada uno, y un cuarto frío con ocho evaporadores, teniendo una capacidad para almacenar 250 toneladas de producto.

### **2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Actualmente el 100% de la energía eléctrica consumida por la empresa Lácteos Kaby, es suministrado por la red nacional.

Se Estudiará la viabilidad de un sistema de generación fotovoltaico sobre techo para reducir el consumo eléctrico mensual de la planta.

### **2.3. JUSTIFICACIÓN**

El consumo eléctrico de esta planta procesadora de lácteos presentó para el mes de mayo 2020 un total de Lps. 57,136.24; tomando en cuenta que la empresa está trabajando a un 60% de producción debido a la pandemia que afecta el país. Un sistema fotovoltaico complementará de manera positiva para reducir el valor de la factura eléctrica cada mes, y ayudando al medio ambiente implementando una energía limpia y renovable.

## **2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

1. ¿Cuál es el equipo eléctrico que mayor consumo eléctrico representan a Lácteos Kaby?
2. ¿Cuál es el tamaño apropiado de un sistema fotovoltaico para la empresa Lácteos Kaby en función de su perfil de carga?
3. ¿Cuál es la generación eléctrica esperada de la planta solar para la empresa Lácteos Kaby?
4. ¿Cuál es el costo total del sistema a instalar? ¿Cuál es la TIR y LCOE del proyecto?
5. ¿Cuántas emisiones de CO<sub>2</sub> se dejarán de emitir a la atmósfera con el sistema fotovoltaico propuesto?

## **2.5. OBJETIVOS**

Los objetivos de la investigación son los que marcarán el camino a seguir de la misma, en este apartado se presentará el objetivo general y los objetivos específicos.

### **2.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar el costo beneficio de la implementación de un generador solar fotovoltaico y evaluar la factibilidad técnica y económica para la empresa Lácteos Kaby con aras de disminuir los gastos de electricidad y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a su consumo eléctrico. Se considerará el proyecto técnicamente viable si se obtiene un Performance Ratio (Coeficiente de rendimiento) mayor a un 75% y se considerará económicamente viable si se obtiene una TIR sin financiamiento mayor a un 15%.

### **2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Hacer un análisis de la demanda de la empresa Lácteos Kaby
- 2) Analizar cuál es el equipo eléctrico que producen mayor consumo eléctrico.
- 3) Dimensionar y diseñar el sistema fotovoltaico para la empresa Lácteos Kaby en función del perfil de carga y demanda actual de electricidad.
- 4) Simular la producción energética de la planta solar, utilizando software HOMER GRID.

- 5) Calcular cantidad de materiales y de obra para realizar un presupuesto para el sistema.
- 6) Hacer un análisis financiero del sistema para calcular la TIR y el LCOE.
- 7) Estimar cuantas emisiones de CO<sub>2</sub> se van a dejar de emitir a la atmósfera con la utilización del sistema fotovoltaico propuesto.

### **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.

#### **3.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

La situación actual se enfoca en analizar una empresa procesadora de Lácteos, Lácteos Kaby, que se encuentra ubicada en el departamento de Atlántida. Esta empresa representa cargas eléctricas representativas que se obtienen por el uso de cuartos fríos y máquinas descremadoras. Este estudio se enfocará en estos dos equipos especialmente, se analizará el consumo energético de estos equipos y se tratará de disminuir la carga eléctrica con el uso de un sistema fotovoltaico.

##### **3.1.1. ANÁLISIS DE MACROENTORNO**

El aumento de la necesidad del uso de energías alternativas para reducir el alto consumo eléctrico que obtienen las industrias a nivel mundial ha crecido de manera exponencial. El uso de energía fotovoltaica puede ayudar a disminuir los altos costos del consumo eléctrico.

##### **A. Mundo**

En el año 2017 se impuso un récord en el desarrollo, implementación y transición a las fuentes de generación de energía renovable, marcado por un aumento en la capacidad de generación mediante fuentes no convencionales de energía, el desarrollo y avance en tecnologías e investigación, innovación y mejora de materiales y la disminución en los costos de producción de la energía, factores que sitúan a las fuentes de energía de tipo renovable como una alternativa cada vez más prometedora en la transición del uso de energías generadas de combustión fósil. (REN21, 2018)

Otros beneficios indirectos como la disminución en el impacto ambiental y la contaminación, y la independencia de materias primas como el petróleo y el carbón, que, aunque a la fecha son suficientes para suplir la demanda energética son recursos finitos y en algunas ocasiones de difícil extracción. (REN21, 2018)

Al ser de mayor interés para este trabajo el marco histórico referente al crecimiento de la implementación y uso de la energía solar fotovoltaica, los datos históricos para el periodo comprendido entre el 2007 y el 2017 muestran un incremento con tendencia exponencial, pasando de generar en el año 2012 un total de 100 GW a generar para el año 2017 un total de 402 GW a nivel mundial. (Rodriguez Moreno & Sánchez Castillo, 2013)

Dentro de los países que incluyen dentro de su matriz energética la generación solar fotovoltaica se encuentran en el top cinco, liderando el mercado energético de China, seguido por los Estados Unidos, la India, Japón y Turquía, quienes son pertenecientes de cerca del 84% de la nueva capacidad instalada para el año 2017. Dentro de los países con mayor generación de energía solar fotovoltaica se encuentran también Alemania, Australia, la república de Corea, Reino Unido y Brasil. (Rodriguez Moreno & Sánchez Castillo, 2013)

### 3.1.2. MICROENTORNO

#### *a) LA RUTA HACIA EL FUTURO PARA LA ENERGÍA RENOVABLE EN CENTROAMÉRICA*

Centroamérica tiene un enorme potencial para convertirse en un líder mundial en energía renovable a pesar de que el diseño concreto de un sistema de energía sostenible con base en tecnologías renovables, eficiencia energética y opciones inteligentes de transmisión, distribución y almacenamiento solo se está haciendo visible poco a poco. (Rodriguez Moreno & Sánchez Castillo, 2013)

Según (Rodriguez Moreno & Sánchez Castillo, 2013) "Las inversiones en energía renovable están creciendo en la región, pero los actuales mecanismos de apoyo político y financiero siguen siendo insuficientes para desarrollar el potencial completo de todos los países."

En Centroamérica, Las primeras plantas de energía fotovoltaica a escala de toda la región se hallan en el proyecto Parque Solar Miravalles de Costa Rica, que tiene un megavatio y que se inauguró en noviembre de 2012, y en la planta de La Trinidad de 1.2 megavatios en Nicaragua, inaugurada en febrero de 2013. (Rodriguez Moreno & Sánchez Castillo, 2013)

En hogares con ingresos medio-altos y empresas que a menudo enfrentan mayores tarifas de electricidad se están instalando cada vez más energía fotovoltaica vinculada con la red y fuera de la red, motivados por un deseo de reducir sus costos y su dependencia de la red y, en algunos casos, por aspiraciones ambientales. (Rodríguez Moreno & Sánchez Castillo, 2013)

### 3.1.3. ENTORNO NACIONAL

#### a) *EMSULA INAUGURA PROYECTO INNOVADOR DE ENERGÍA SOLAR FINANCIADO POR EL BID*

La Embotelladora de Sula S.A. (Emsula) del Grupo Corinsa, inauguró el pasado 20 de marzo el proyecto solar fotovoltaico sobre techos más grande de América Latina en sus instalaciones ubicadas en San Pedro Sula, Honduras. Este proyecto fue financiado con ayuda del BID y contribuirá 3MW de energía solar a su instalación, la cual embotella refrescos, jugos y agua purificada de diferentes empresas, entre ellas, Pepsi, Gatorade y Té Lipton. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2015)

#### b) *MAQUILA EN HONDURAS APROVECHA ENERGÍA SOLAR*

El sector maquila en Honduras está aumentando su eficiencia mediante inversiones en energía limpia sostenible. Jesús Canahuati, empresario del sector textil dijo que 50 megavatios de energía renovable serán generados para las maquilas de Choloma, destaca el reporte de Energía Limpia XXI. Jesús Canahuati agregó que “esto está orientado para darle energía a todas las expansiones que se están haciendo en la industria textil maquiladora, abaratar entre un 20 y un 30 por ciento los costos de energía eléctrica y darle más viabilidad”. (Energía Limpia XXI, 2015)

#### c) *LÁCTEOS KABY*

Lácteos Kaby es una empresa productora de lácteos de manera artesanal situada en Mezapita, Atlántida. El proceso comienza con la recolección de leche, la empresa compra la leche a los productores, es decir, a los ganaderos que hay en los pueblos aledaños a la planta. Utilizan dos formas de recolectar la leche:

1. El ganadero va a dejar la leche a la planta
2. La empresa manda recolectores por el producto

Al llegar la leche a la empresa, se mide en litros y se paga a los ganaderos y recolectores por litro de leche. Seguidamente la leche pasa a un tanque donde se mantiene refrigerada hasta que se decide qué producto se realizará con ella; si es un producto que necesita ser descremado para la elaboración del producto final, pasa directamente a la descremadora, de este proceso se obtienen el queso crema, mantequilla y el queso frijolero; la leche que no ha sido descremada pasa a unas pilas donde se les agrega el cuajo, donde se espera un tiempo aproximado de treinta minutos para que haga efecto y la leche se convierta en cuajada. El siguiente proceso es cortar la cuajada y se drena el exceso de suero, que pasa por un canal de aguas residuales, se le agrega sal, pasa a los molinos y se muele para sacar la cuajada para venderlo como tal, y también para utilizarla en la creación del queso especial. Al finalizar todo este proceso se pesa, se empaca y se almacena en los cuartos fríos.

### **3.2. TEORÍAS DEL SUSTENTO**

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

#### **3.2.1. PROCESADOR DE LÁCTEOS EN EL SECTOR ARTESANAL**

Dentro del sector artesanal, el procesador se caracteriza por la elaboración de distintas variedades del queso, y otros productos derivados como cuajada, quesillo, mantequilla, entre otros. Empero, una de las características de este componente del sector procesador es la falta de exigencia de requisitos de calidad e higiene de la leche cruda que es comprada a los productores. En general, la leche que compra el procesador es de menor calidad y por tanto de menor precio, además del hecho que carece de algún tipo de regulaciones sanitarias. (Comisión para la Defensa y Promoción de la Competencia, 2013)

La forma de abastecimiento de los procesadores artesanales de lácteos es diversa. Los CRELs venden la producción rechazada por las plantas industriales a las plantas artesanales o, cuando se presentan problemas de venta a las plantas del sector formal, existiendo así un

cruce entre ambos sectores. Otra forma de abastecimiento se da cuando los procesadores artesanales son a la vez productores y se encargan del siguiente eslabón de la cadena y procesan y distribuyen la leche al detalle o a nivel mayorista. Sin embargo, también es posible que un productor que provee de leche al sector industrial pueda abastecer al sector artesanal, lo que en buena medida depende del factor calidad y la estacionalidad del producto. (Comisión para la Defensa y Promoción de la Competencia, 2013)

“Según estudios elaborados por PYMERURAL sobre la línea base de los Procesadores Artesanales de Leche (PALs), apenas un 55% poseen licencia sanitaria emitida por la Secretaria de Salud.” (Comisión para la Defensa y Promoción de la Competencia, 2013)

“La encuesta realizada por el Programa PYMERURAL en el año 2009 estimó un número de 472 PALs en el país distribuidas principalmente en los departamentos de Olancho, Atlántida, Copan, Choluteca, El Paraíso, Cortes, Yoro, y Santa Bárbara.” (Comisión para la Defensa y Promoción de la Competencia, 2013)

A continuación, observaremos la cantidad de PALs y litros procesados diariamente divididos por departamento:

*Tabla 1. Litros de Leche Procesados por Departamento*

Número , Volumen y Rendimiento de Procesadores Artesanales de Leche (PALs) en Honduras								
Departamento	PALs			Litros Procesados Diariamente				
	Cantidad	Porcentaje	HHI	Por Planta	Totales	Rendimiento (lt/Pal)	Porcentaje	HHI
Atlántida	42	8.9%	79.2	2,602.0	109,284.0	2,602.0	18.6%	344.2
Colon	23	4.9%	23.7	2,702.0	62,146.0	2,702.0	10.5%	111.3
Copan	65	13.8%	189.6	473.0	30,745.0	473.0	5.2%	27.2
Cortes	9	1.9%	3.6	874.0	7,866.0	874.0	1.3%	1.8
Choluteca	42	8.9%	79.2	1,560.0	65,520.0	1,560.0	11.1%	123.7
El Paraíso	31	6.6%	43.1	1,279.0	39,649.0	1,279.0	6.7%	45.3
Lempira	18	3.8%	14.5	341.0	6,138.0	341.0	1.0%	1.1
Ocatepeque	9	1.9%	3.6	154.0	1,386.0	154.0	0.2%	0.1
Olancho	197	41.7%	1,742.0	1,211.0	238,567.0	1,211.0	40.5%	1,640.1
Santa Bárbara	12	2.5%	6.5	1,293.0	15,516.0	1,293.0	2.6%	6.9
Valle	4	0.8%	0.7	591.0	2,364.0	591.0	0.4%	0.2
Yoro	20	4.2%	18.0	495.0	9,900.0	495.0	1.7%	2.8
<b>Totales</b>	<b>472</b>	<b>100.0%</b>	<b>2,203.8</b>		<b>589,081.0</b>	<b>1,248.1</b>	<b>100.0%</b>	<b>2,304.7</b>

(Comisión para la Defensa y Promoción de la Competencia, 2013)

### 3.2.2. DESCREMADORA SURYODAY (AE-29)



*Ilustración 1. Descremadora Suryoday Modelo (AE-29)*

Fuente: (Suryoday Brand Cream Separator, 2020)

La descremadora eléctrica (AE-29), ilustración número uno, cuenta con una capacidad de 1500 litros por hora y se presenta a precios accesibles en el mercado. Es muy apreciado por su construcción robusta, larga vida útil y alta eficiencia. La descremadora tiene una potencia nominal de 746 Watts y funciona con una bomba de potencia de 0.5 caballos de fuerza y está disponible con 45 discos. (Suryoday Brand Cream Separator, 2020)

### 3.2.3. CÁMARA MEDIANA DE REFRIGERACIÓN 57-98 M3



*Ilustración 2. Cámara Mediana de Refrigeración utilizado en Lácteos Kaby*

Fuente: (BOHN, 2020)

Los cuartos fríos que se observan en la ilustración 2, son los utilizados en la empresa Lácteos Kaby. Se encuentran 3 compresores con capacidad de 11 [kW] de manera individual, y cuenta con 6 evaporadores con capacidad de 3.6 [kW] de manera individual.

### 3.2.4. 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 panel solar es el conjunto de celdas solares los cuales están formados por diodos que al estar juntos generan corriente directa, para la transformación de corriente alterna, es necesario el uso de un inversor de corriente.

### 3.2.5. RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar es la energía que proviene del Sol. En el núcleo solar se producen reacciones nucleares que liberan 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/m<sup>2</sup>). Las estimaciones directas de la energía solar también se suelen expresar con las unidades (W/m<sup>2</sup>).” (U.S. Department of Energy, 2013)

### 3.2.6. CÁLCULO DE CANTIDAD DE MÓDULOS SOLARES PARA UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para calcular el número de módulos 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 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

*Fuente: (Gamboa, 2014)*

## 3.3. CONCEPTOS FINANCIEROS

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

### 3.3.1. 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)

Donde:

- **Q<sub>n</sub>** es el flujo de caja en el periodo n.

- **N** es el número de periodos.
- **I** es el valor de la inversión inicial.

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

Fuente: (Rankia S.L, 2020)

### 3.3.2. 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)

Donde:

- **Vt** representa los flujos de caja en cada periodo t.
- **I0** es el valor del desembolso inicial de la inversión.
- **n** es el número de periodos considerados.
- **k** es el costo capital utilizado.

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{F_{nj}}{(1+i)^j}$$

Fuente: (Rankia S.L, 2020)

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)*

### 3.3.3. 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.

### 4.1. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

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

#### 4.1.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Es la variable principal de la investigación, esta depende de la influencia de las variables independientes. En este proyecto de investigación la variable dependiente a estudiar es el Costo/Beneficio, Se considera rentable si su valor es mayor a 1, no rentable si es menor a 1.

#### 4.1.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Son los fenómenos o conceptos que se evalúan para conocer su influencia, incidencia o afectación sobre la variable dependiente.

A continuación, se explican brevemente las variables de mayor afectación:

**Costo/Beneficio:** Es la variable dependiente de la investigación. El análisis de costo-beneficio se utilizará con el fin de conocer la rentabilidad.

**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].

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

**Irradiación:** Afecta de manera positiva debido a que este recurso es abundante y será el principal factor para una alta generación de energía. Se analizará en unidades de [kWh/m<sup>2</sup>].

**Clima:** Afecta de manera positiva debido a que las condiciones climáticas en la zona son de beneficio a la generación solar. Se analizará en unidades de temperaturas [°C].

**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 obteniendo un mantenimiento correcto, 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 [\$].

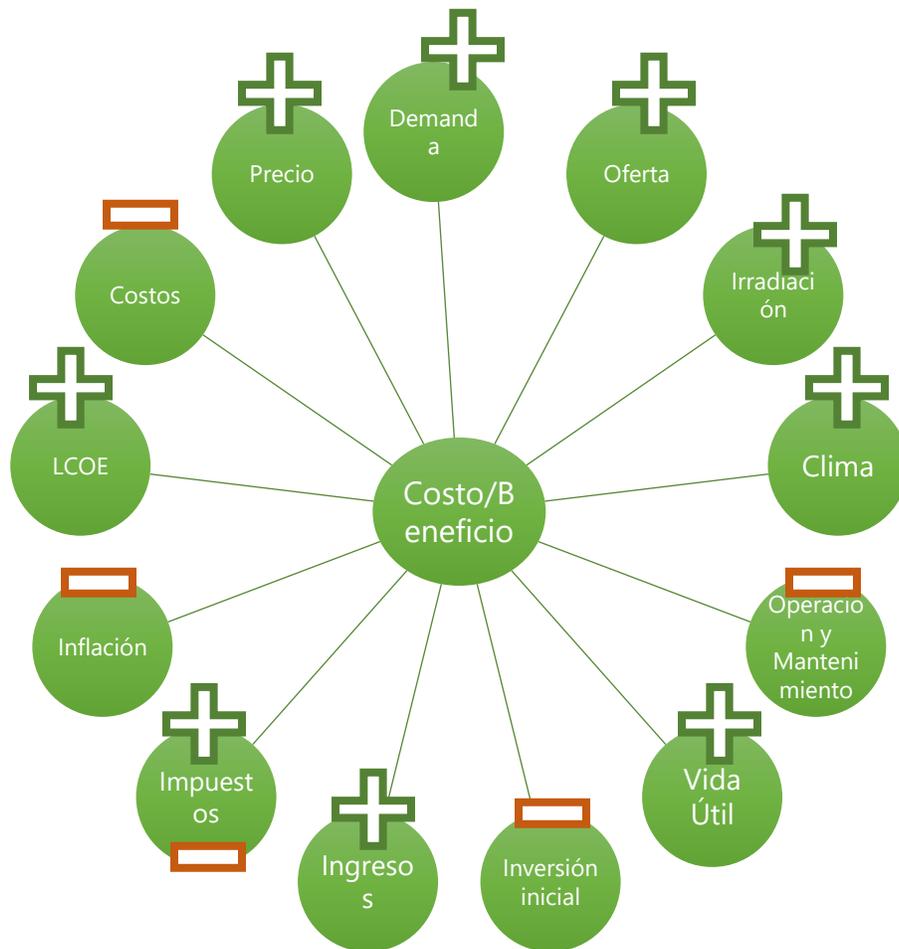
**Ingresos:** Afecta positivamente ya que representarán directamente el ahorro por el uso del sistema de generación. Se analizará en unidades de [Lps.] o [\$].

**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 [\$].

**LCOE:** 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].



Fuente: Elaboración propia.

## 4.2. HIPÓTESIS

La hipótesis son suposiciones realizadas con base a información conocida para guiar una investigación.

### 4.2.1. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La implementación de un generador fotovoltaico para la empresa Lácteos Kaby que generará un costo beneficio mayor a 1.

### 4.2.2. HIPÓTESIS NULA

La implementación de un generador fotovoltaico para la empresa Lácteos Kaby que generará un costo beneficio menor o igual a 1.

## 4.3. 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 personal experimentado de Lácteos Kaby 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”. (Helioscope, 2019)

**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”. (Meteonorm, 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) Microsoft Excel es utilizado para crear el perfil de carga.

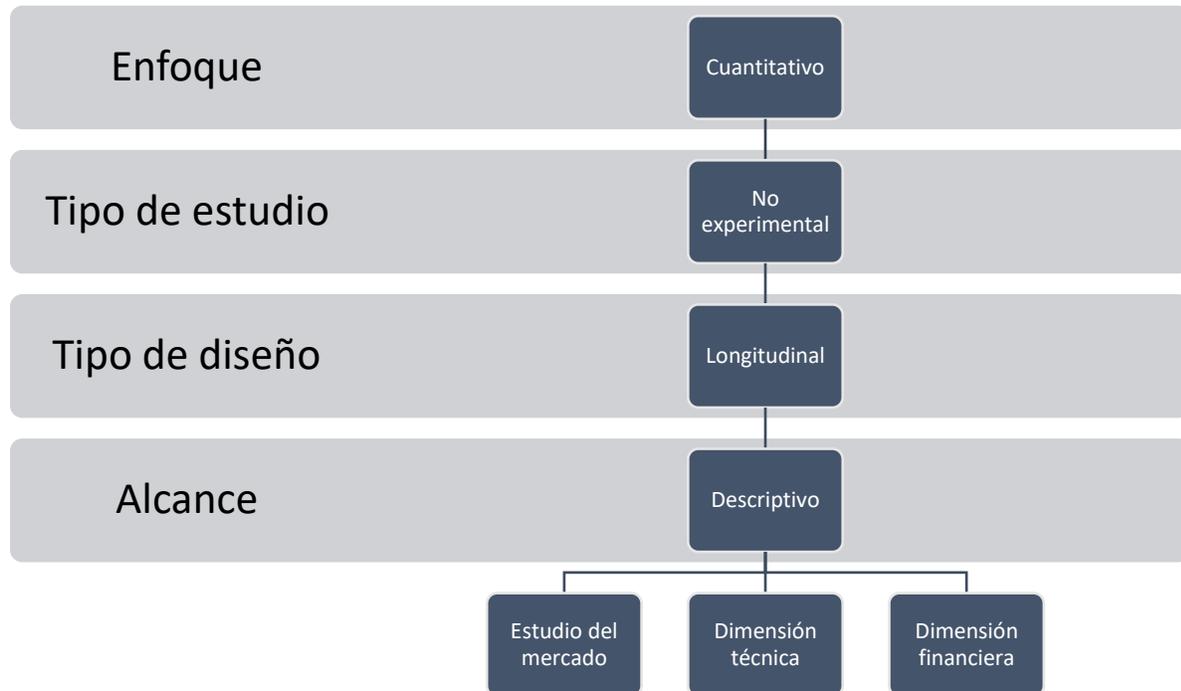
#### **4.4. DISEÑO METODOLÓGICO**

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.

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.



*Ilustración 3. Diseño de Esquema Metodológico*

*Fuente: Elaboración Propia*

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, 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 Homer Grid. 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.

#### 4.5 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										■	

## **V. ANÁLISIS Y RESULTADOS**

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

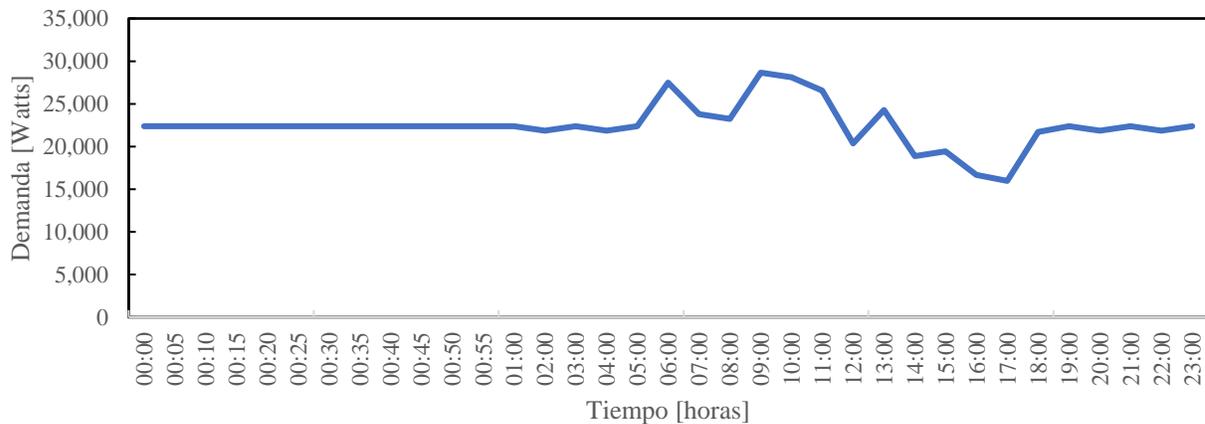
### **5.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

La implementación de un sistema solar fotovoltaico conectado a red en la planta procesadora de Lácteos, Lácteos Kaby, tendrá como principal objetivo disminuir los gastos derivados del alto consumo de energía eléctrica derivados de los cuartos fríos y máquinas descremadoras.

## VI. ANÁLISIS DE DEMANDA

El mercado de la investigación se basa en el perfil de carga del consumo de energía eléctrica de la empresa productora de lácteos, llamada Lácteos Kaby, el cual es analizado a partir de la información tomada por la recaudación de datos en una visita a la empresa en el departamento de Atlántida, se hizo un perfil de carga en el cual llegamos a la conclusión que el consumo promedio mensual es de 15,633.21 [kWh].

Para este análisis se estudiará el consumo de un día promedio. Este análisis se realizó con ayuda de Microsoft Excel.



*Ilustración 4. Perfil de carga eléctrica para Lácteos Kaby para un día laboral*

*Fuente: Elaboración Propia*

En la ilustración 4 podemos observar el comportamiento del perfil de carga que el mayor uso de la energía es durante las horas de la mañana, que es el rango de tiempo en el cual las descremadoras y bombas para impulsar la leche se encienden.

En base a la información del perfil de carga, se puede concluir que la mayor carga eléctrica en la empresa procesadora de lácteos, Lácteos Kaby proviene de los cuartos fríos, los cuales

trabajan durante 24 horas del día, y las maquinas descremadoras, el cual juntos representan un 74% del consumo eléctrico total de la planta, el cual se puede observar en la ilustración 5 a continuación:

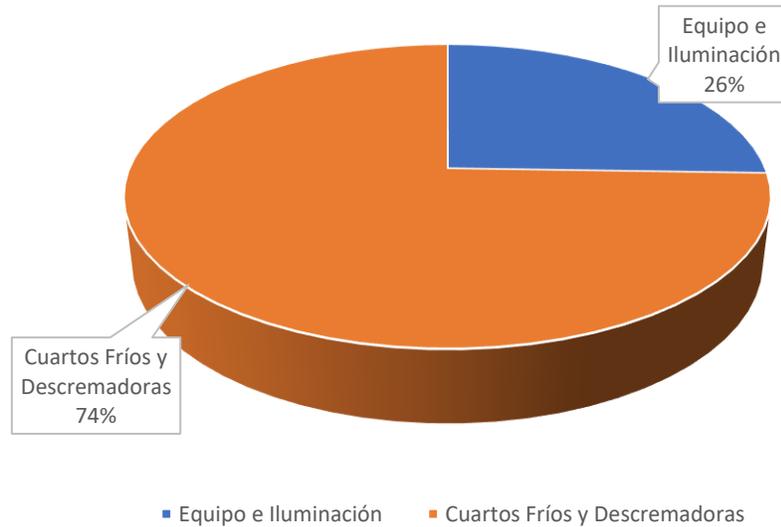


Ilustración 5. Consumo de Energía [kWh]

Fuente: Elaboración Propia

## 6.1. ANÁLISIS TÉCNICO

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

### 6.1.1. ESTUDIO METEOROLÓGICO

Se analizarán los datos meteorológicos utilizando el software Meteonorm (Meteotest, 2020) en la ubicación del sistema solar fotovoltaico: Lácteos Kaby, Atlántida, 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.

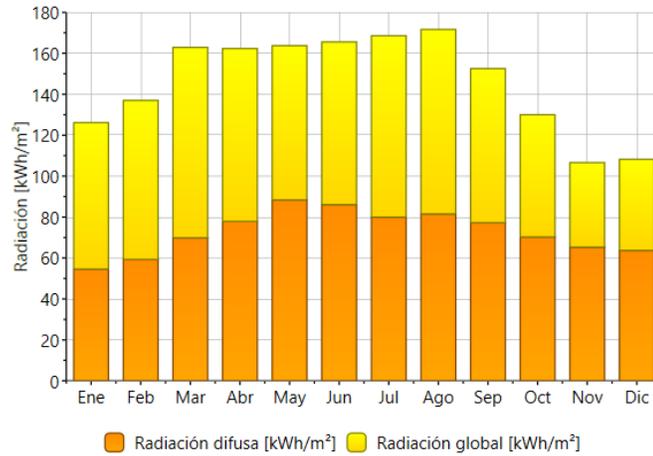


Ilustración 6. Radiación Mensual Promedio

Fuente: (Metetest, 2020)

En la ilustración 6 se puede observar que la radiación global mensual en la localidad suele estar en promedio de 150 [kWh/m<sup>2</sup>] y anualmente llegando a poco más de 1,700 [kWh/m<sup>2</sup>].

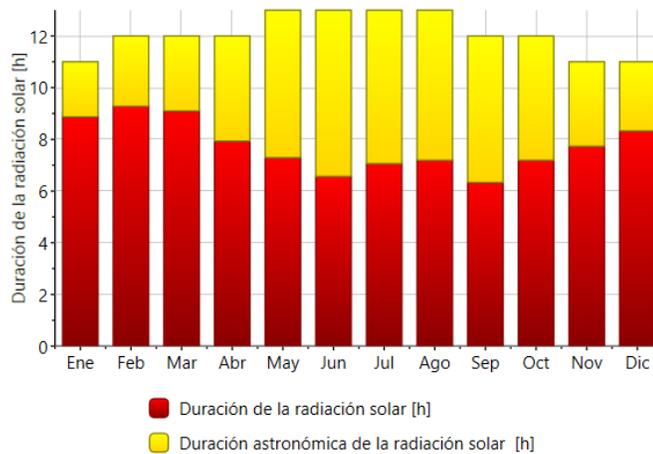


Ilustración 7. Duración de Insolación

Fuente: (Metetest, 2020)

En la ilustración 7 se observa la duración promedio de la radiación solar por mes, la cual suele estar superando las 6 horas diarias y llegando hasta un poco más de 9 horas diarias.

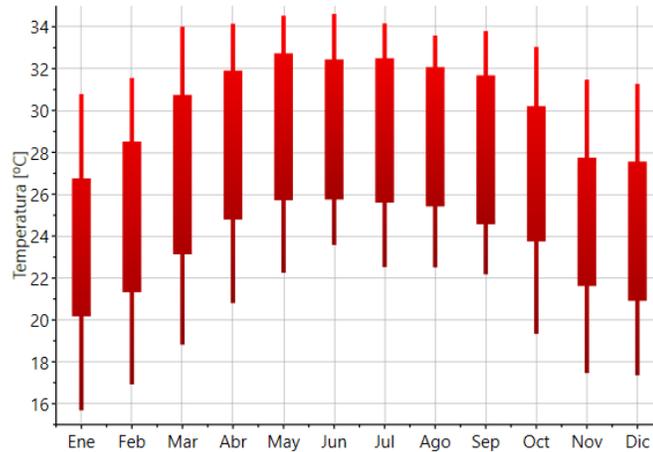


Ilustración 8. Temperatura Promedio

Fuente: (Meteotest, 2020)

Analizando la ilustración 8 se puede apreciar que la temperatura promedio en la zona suele ser en promedio de 29 °C, aunque puede llegar hasta arriba de los 35 °C en algunos meses.

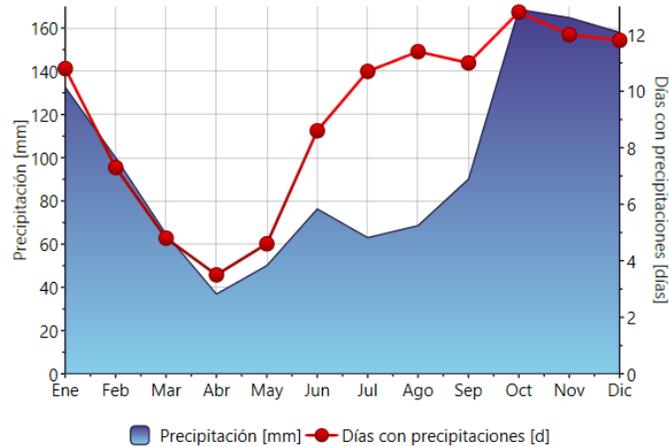


Ilustración 9. Precipitación Mensual Promedio

Fuente: (Meteotest, 2020)

Respecto a la ilustración 9 se puede analizar que, durante la primera mitad del año, las lluvias son bastante escasas, mientras que en los meses de septiembre a diciembre podemos ver que son los meses que más precipitación se obtiene.

## 6.2. DISEÑO DEL SISTEMA

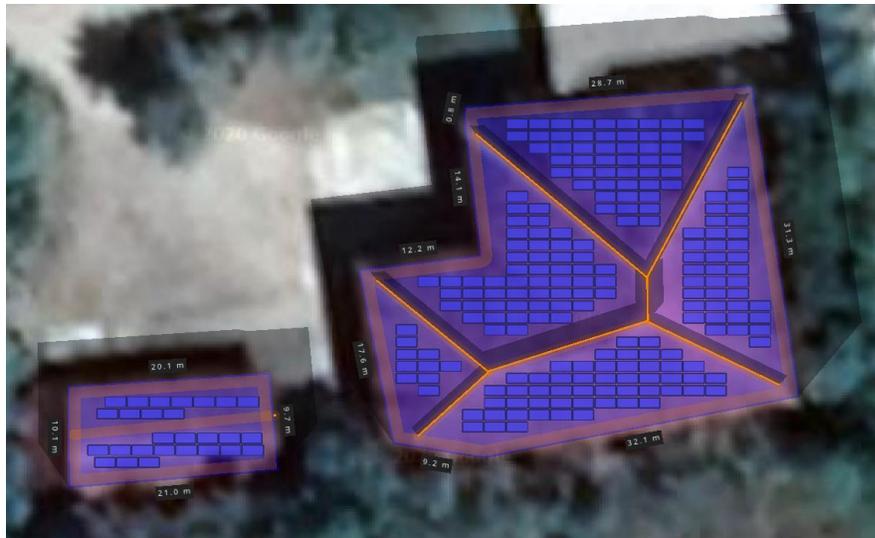
Se decidió que, para este sistema fotovoltaico conectado a red, los paneles a utilizar serían los Canadian Solar "HiKu CS3w-405P" (Canadian Solar, 2020) los cuales son policristalinos y poseen una potencia de 405 [W]. Esta decisión es tomada con base a los paneles solares que se encuentran a la venta en el mercado local, presentan una eficiencia de 18.33%.

Así que tomando en cuenta la información meteorológica obtenida, la potencia nominal del panel solar escogido, y el consumo anual de energía eléctrica en la planta procesadora de lácteos, la energía producida es 187.6 [MWh/año], se calcula el número de paneles solares que aproximadamente se ocuparán para una producción de energía que podrá cubrir el 70% (en base al análisis del perfil de carga) de la demanda energética de la procesadora de lácteos, Lácteos Kaby, dando como resultado 228 paneles, siendo esta cantidad sólo la base para el diseño real que se presentará a continuación.

### 6.2.1. DISEÑO DEL SISTEMA

Utilizando el software Homer-Grid, pudimos conocer cuál es la capacidad de generación la cual se puede llegar a instalar, el cual es 92.3 [kW]. Utilizando este dato y el PR (Performance Ratio) el cual es de 1.23, podemos comenzar a diseñar en el software Helioscope.

El sistema solar fue ubicado sobre el techo de la procesadora de lácteos, se seleccionó esta área gracias a la inexistencia de obstáculos que generen sombras al sistema y además que la infraestructura de la planta procesadora de lácteos es propiedad de Lácteos Kaby. En la ilustración 10 se podrá ver el área y el diseño proyectado para la instalación del sistema solar, poseerá 228 paneles con una potencia de 405 [W] lo que se traduce en una potencia total de 92.3 [kW]. Los módulos estarán con una inclinación de 15°. El diseño fue realizado con Helioscope.



*Ilustración 10. Área y Diseño del Sistema Fotovoltaico*

Fuente: (Folsom Labs, 2020)

Tras definir este diseño, se escogió el inversor a utilizar tomando en cuenta. Los inversores que fueron escogidos son Canadian Solar "CSI-25K-T400GL02-E", los cuales poseen una potencia nominal de 25[kW] y un voltaje de salida de 480 [V] trifásico. Para el sistema se usarán tres inversores, consiguiendo un factor DC/AC igual a 1.23, por lo que la potencia total en AC será de 75 [kW].

Con el diseño completado, Helioscope genera el reporte de simulación, calculando así la generación de energía mensual, las pérdidas que el sistema pueda presentar y calcula la proporción de rendimiento (PR), siendo en este proyecto de 77.8%. En la siguiente ilustración se aprecia la gráfica de generación de energía esperada mensualmente para el primer año, en la que se puede apreciar una generación promedio de 10.95 [MWh] mensuales y una generación anual total de 131.5 [MWh].

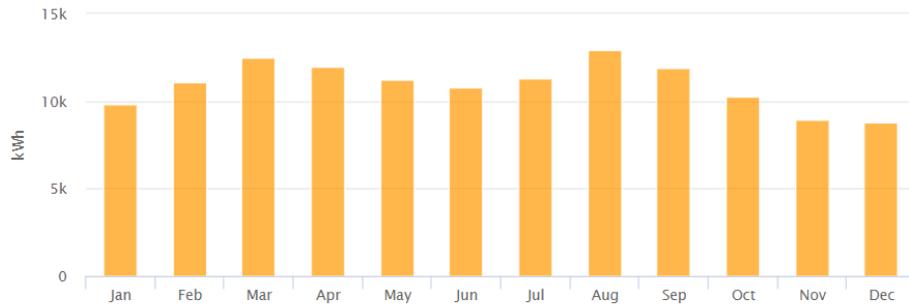


Ilustración 11. Producción de Energía Helioscope

Fuente: (Folsom Labs, 2020)

En la siguiente ilustración 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 24.5%, siendo las pérdidas por temperatura las más altas con 7.5%.

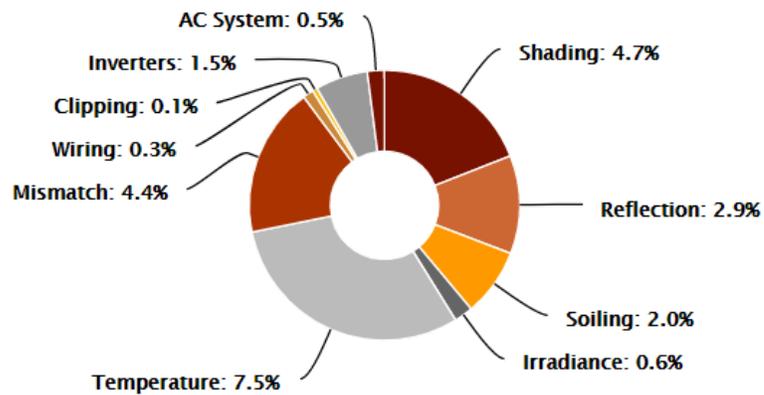


Ilustración 12. Perdidas Helioscope

Fuente: (Folsom Labs, 2020)

### 6.2.2. NÚMERO MÍNIMO Y MÁXIMO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN UNA CADENA

En el diseño de un sistema fotovoltaico, es esencial para asegurar que la salida de voltaje de cada cadena en serie está dentro del rango aceptable para el sistema. Si el voltaje es demasiado bajo, el inversor no arrancará y no va a producir energía. Si la tensión es

demasiado alta, el inversor puede resultar dañado, lo que puede iniciar un incendio u otros peligros. (e-XXI, 2020)

Donde:

- **V<sub>min</sub>** es el voltaje mínimo de entrada en una cadena.
- **V<sub>mp</sub>** voltaje de máxima potencia del módulo.
- **T<sub>prom</sub>** es la temperatura promedio
- **T<sub>rise</sub>** es la temperatura de crecimiento del módulo.
- **T<sub>stc</sub>** es la temperatura bajo condiciones de prueba estándares.
- **T<sub>cvmp</sub>** es el coeficiente de temperatura del voltaje de máxima potencia del módulo.
- **V<sub>start inversor</sub>** es el voltaje de entrada al inversor.

$$V_{MIN} = (V_{MP} [V] + (T_{PROM} + T_{RISE} - T_{STC}) [^{\circ}C] * (T_{CVMP} * \frac{V_{mp}}{100}))$$

$$V_{MIN} = (38.7 [V] + (37.8 + 34.8 - 25) [^{\circ}C] * (-0.37\% * \frac{38.7 V}{100}))$$

$$V_{MIN} = 38.63 V$$

FACTOR DE PÉRDIDAS = 10%

$$\# \text{ MÍNIMO DE MÓDULOS EN UNA CADENA} = \frac{V_{start \ inversor}}{V_{min} * (1 - \% \text{ perdidas})}$$

$$\# \text{ MÍNIMO DE MÓDULOS EN UNA CADENA} = \frac{480 [V]}{38.63 V * (1 - 0.1)}$$

$$\# \text{ MÍNIMO DE MÓDULOS EN UNA CADENA} = 13.8 = 14 \text{ MÓDULOS POR CADENA}$$

Al obtener el número mínimo de módulos en una cadena, se necesita encontrar el número máximo de módulos en una cadena, para así poder determinar la cantidad de módulos que pondremos por cada cadena. Comenzamos encontrando el valor de voltaje máximo que se encuentra a continuación:

Donde:

- **V<sub>max</sub>** es el voltaje máximo de entrada en una cadena.
- **V<sub>oc</sub>** es el voltaje del circuito abierto del módulo.
- **T<sub>record low</sub>** es la temperatura más baja promedio en la zona.
- **T<sub>stc</sub>** es la temperatura bajo condiciones de prueba estándares.
- **T<sub>c<sub>voc</sub></sub>** es el coeficiente de temperatura de voltaje del circuito abierto del módulo.
- **V<sub>max inversor</sub>** es el voltaje máximo para el inversor.

$$V_{MAX} = V_{OC} + (T_{RECORD\ LOW} - T_{STC}) [^{\circ}C] * (T_{C_{voc}} * \frac{V_{oc}}{100})$$

$$V_{MAX} = 47.2 + ((17.8 - 25) [^{\circ}C] * (-0.29\% * \frac{47.2}{100}))$$

$$V_{MAX} = 47.20\ V$$

$$\# \text{ MÁXIMO DE MÓDULOS EN UNA CADENA} = \frac{V_{max\ inversor}}{V_{max}}$$

$$\# \text{ MÁXIMO DE MÓDULOS EN UNA CADENA} = \frac{1000\ V}{47.20\ V}$$

$$\# \text{ MÁXIMO DE MÓDULOS EN UNA CADENA} = 21.18 = 21 \text{ MÓDULOS POR CADENA}$$

Luego de realizar el análisis de número máximo y mínimo de módulos en una cadena, se determinó utilizar la media de ambos valores para definir el número de módulos, el cual es 18 módulos por cadena.

## VII. ANÁLISIS FINANCIERO

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*.

Para el análisis financiero se tomaron en cuenta los siguientes parámetros presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros Principales

Potencia instalada [kWp]	92.3
Costo de capital específico [\$/kWp]	1,832.10
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 [\$]	\$92,914.62
Tasa impositiva/ISR [%]	25%
*Seguros [\$/año]	\$344.92
Vida útil del proyecto [años]	25
*Reinversión en año 13 [\$]	11,270
Energía generada al año [kWh/año]	187,600
Depreciación anual [%]	0.5%
Tasa de cambio Dólar a Lempira	24.5023
Tarifa energética actual [Lps/kWh]	4.2868 (CREE, 2019)
Tarifa energética actual [\$/kWh]	0.1750

*Fuente: Elaboración Propia*

Según (NREL, 2016), el costo del seguro es el 0.25% del costo capital total del proyecto. Como podemos observar en la tabla 2, el costo de seguro por año es de \$344.92, obteniendo un costo total de \$8,623 durante la vida útil del proyecto el cual es de 25 años.

La reinversión en el año 13 es debido a que la vida útil que estamos proyectando de los inversores es de 13 años, consecuentemente se haría la compra de los dos inversores de misma potencia para sustituir los inversores que ya cumplieron su ciclo.

El valor del costo capital total representa la inversión inicial del proyecto y se calculó con el presupuesto presentado en la Tabla 3.

Tabla 3. Presupuesto de Inversión en Dólares

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unidad [\$]</b>	<b>Costo Total [\$]</b>
Paneles fotovoltaicos	288	\$90.4	\$20,611.20
Inversores solares	3	\$4,000	\$12,000
Estructura de soporte	1	\$8,350	\$8,350.5
Obra civil	1	\$6,000	\$6,000.00
Sistema de puesta a tierra	1	\$2098.17	\$2098.17
Banco de capacitores	1	\$4,464.63	\$4,464.63
Combiners	2	\$622.75	\$1,245.50
Controladores	1	\$16,989.10	\$16,989.10
Sistema de medición	1	\$5,393.50	\$5,393.50
Mano de obra	1	\$1,700	\$1,700.00

Total			\$92,914.62
-------	--	--	-------------

Fuente: *Elaboración Propia*

Con estos parámetros se calculó el LCOE del sistema fotovoltaico, siendo igual a 0.0388 [\$/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 siguiente ilustración. Estos valores fueron calculados en un libro de Excel.

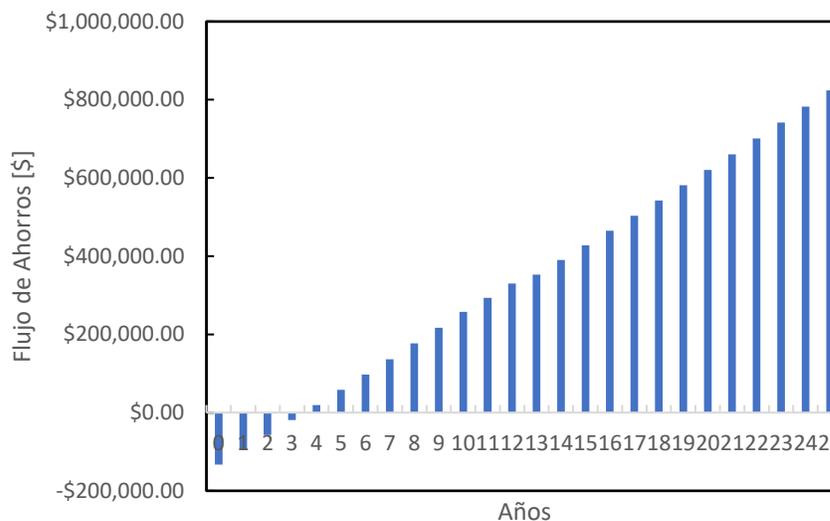


Ilustración 13. Flujo Acumulado de Ahorros

Fuente: *Elaboración Propia*

Podemos observar en la ilustración 13, que la inversión se recuperara en un poco más de tres años y obtendremos un ahorro total de \$823,787.90 durante toda la vida útil del proyecto.

En la ilustración 14 se presentan graficados los ahorros que significaría el proyecto año con año. teniendo un ahorro anual promedio de \$38,260.20. En el año décimo tercero se observa un ahorro que disminuye, esto se debe a que será necesaria la reinversión en inversores.

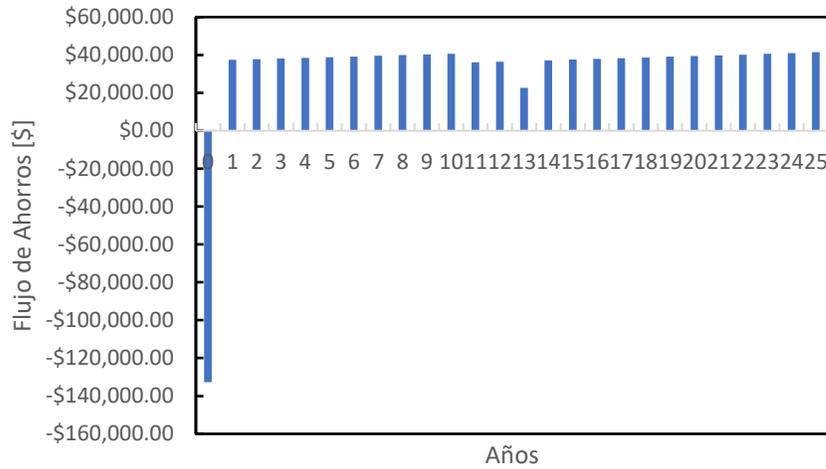


Ilustración 14. Promedio de Ahorros Anuales

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 costo/beneficio (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 4. Resultados

Retorno de la inversión [años]	3.17
VAI [€]	\$197,191.32
VAC [€]	\$152,074.99
B/C [-]	1.30
TIR [%]	25%

Fuente: Elaboración Propia

El valor del B/C se puede interpretar de dos maneras, si el cociente es mayor a 1 se considera que el proyecto es rentable y al contrario si el cociente es menor o igual que 1 se considera el proyecto no es rentable. Siendo en este caso el cociente igual a 1.30 se comprueba que el proyecto es rentable.

## VIII. ANÁLISIS AMBIENTAL

Para el análisis ambiental cabe destacar que el sistema fotovoltaico tiene cero contaminación visual y auditiva.

Se da una reducción anual de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): 46.8 ton – CO<sub>2</sub> equivalentes a un aproximado de 2,433 árboles plantados anualmente.

$$104,000.00 \text{ kWh} \times \left( \frac{0.45 \text{ kg-CO}_2\text{-eq}}{1 \text{ kWh}} \right) \times \left( \frac{1 \text{ Ton}}{1,000 \text{ kg}} \right) = 46.8 \text{ ton CO}_2\text{-eq}$$

## IX. 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 1.30, 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 sistema fotovoltaico en Lácteos Kaby representará un ahorro en 25 años equivalente a \$773,357.22, además se concluye que la inversión podrá ser recuperada en 3.17 años.

- El equipo que representa el mayor consumo eléctrico en la planta procesadora de lácteos son los cuartos fríos y las máquinas descremadoras, las cuales representan un 74% del consumo total de la empresa.
- En función al perfil de carga de Lácteos Kaby, se necesitarán 228 módulos fotovoltaicos con capacidad de 405 [W] cada uno para obtener un ahorro estimado del 70%.
- La generación eléctrica esperada para la empresa Lácteos Kaby es de 131.5 [MWh/año], obteniendo de esta manera una generación eléctrica mensual de 10.96 [MWh].
- El costo total del sistema a instalar es de \$137,966.98. Con los estudios realizados, se obtuvo una tasa interna de retorno del 25% y un costo nivelado de la electricidad de 0.0388 [\$/kWh].
- Se da una reducción anual de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de 46.8 ton – CO<sub>2</sub> equivalentes a un aproximado de 2,433 árboles plantados anualmente.

Al momento de realizar el levantamiento de datos, se enfrentaron dificultades para movilizarse a la planta procesadora de lácteos debido a la pandemia COVID-19 que afecta a nivel mundial en estos momentos.

De misma manera, no se pudo obtener los cálculos mas a detalle del consumo energético de la planta procesadora de lácteos debido a que el medidor con el que cuenta la empresa actualmente no guarda un historial de consumo y por las circunstancias que estamos viviendo actualmente, no fue posible conseguir y utilizar un analizador de redes.

Por falta de herramientas y equipo, se tuvo la limitante de realizar un estudio a detalle de la estructura del techo, sin esta información se desconoce si el mismo resistirá el peso de los rieles y los módulos fotovoltaicos a instalar.

Lácteos Kaby se beneficiará del estudio realizado en su empresa, ya que tienen una guía de costos y beneficios en caso de que quisieran implementar el proyecto. De misma manera, puede ser útil para futuros trabajos que sean relacionados con el proyecto. Para finalizar, puede ser utilizado como referencia para personas interesadas en implementar algo similar en sus empresas, ya que cualquier industria de este rubro con altos consumos de energía pueden aprovechar los sistemas solares fotovoltaicos para aprovechar el gasto económico que representa dicho consumo eléctrico.

## X. 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 Lácteos Kaby.

- Se recomienda realizar mantenimientos de manera continua al equipo de mayor consumo eléctrico en la planta, para así garantizar que las mismas están trabajando a su mayor eficiencia y no provoquen consumos de energía eléctrica adicionales.
- 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.
- Debido a la potencia analizada de 92.3[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 TIR y LCOE proyectados.
- Se recomienda llevar a cabo el proyecto ya que el mismo produce una reducción significativa de emisiones de dióxido de carbono a la atmosfera.

## XI. 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.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (25 de Marzo de 2015). *BID*. Obtenido de BID: <https://www.iadb.org/es/noticias/emsula-inaugura-proyecto-innovador-de-energia-solar-financiado-por-el-bid>
- BOHN. (2020). *BOHN*. Obtenido de Bohn: [http://www.bohn.com.mx/condensadores\\_remotos.html](http://www.bohn.com.mx/condensadores_remotos.html)
- Canadian Solar. (2020). *Canadian Solar*. Obtenido de Canadian Solar: <https://www.canadiansolar.com/?lang=global>
- Canadian Solar Inc. (2018). *KuMax HIGH EFFICIENCY MONO PERC MODULE CS3U-375|380|385|390|395MS*. Ontario.
- Carta González, J., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. (2009). *Centrales de energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables*. Madrid: Pearson.
- CEPAL. (2016). *Estadísticas del subsector eléctrico de los países del sistema de la integración Centroamericana (SICA)*.
- Comisión para la Defensa y Promoción de la Competencia. (Mayo de 2013). *El Mercado de Leche y sus Derivados en Honduras*. Obtenido de cdpc: [https://www.cdpc.hn/sites/default/files/Privado/estudios\\_mercado/estudio%20sectorial%20003.pdf](https://www.cdpc.hn/sites/default/files/Privado/estudios_mercado/estudio%20sectorial%20003.pdf)
- CREE. (2019). *Historial de tarifas*. Obtenido de <https://www.cree.gob.hn/historial-de-tarifas/>
- Energía Limpia XXI. (29 de Junio de 2015). *Energía Limpia XXI*. Obtenido de Energía Limpia para Todos: <https://energialimpiaparatodos.com/2015/06/29/maquila-en-honduras-aprovecha-energia-solar/>

e-XXI. (2020). *Energy for the First Century*. Obtenido de Energy for the First Century: <https://www.e-xxi.com/index.php/blog/15-e-xxi-blog/104-como-calcular-el-tamano-de-un-string-solar>

Folsom Labs. (2020). *Helioscope*. Obtenido de Helioscope: [https://www.helioscope.com/designer/3467145/field\\_segments](https://www.helioscope.com/designer/3467145/field_segments)

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>

Helioscope. (2019). *Folsom Labs*. Obtenido de Helioscope: <https://www.helioscope.com/>

*hogarsense*. (10 de Marzo de 2020). Obtenido de <https://www.hogarsense.es/energia-solar/seguidor-solar>

Homer Energy. (2020). *UL*. Obtenido de Homer Energy: <https://www.homerenergy.com/products/grid/>

Jackson, M. (Mayo de 2020). MECER y Helios . (H. Andino, Entrevistador)

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

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

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

Microsoft. (2020). *Microsoft Excel*. Obtenido de Microsoft: <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>

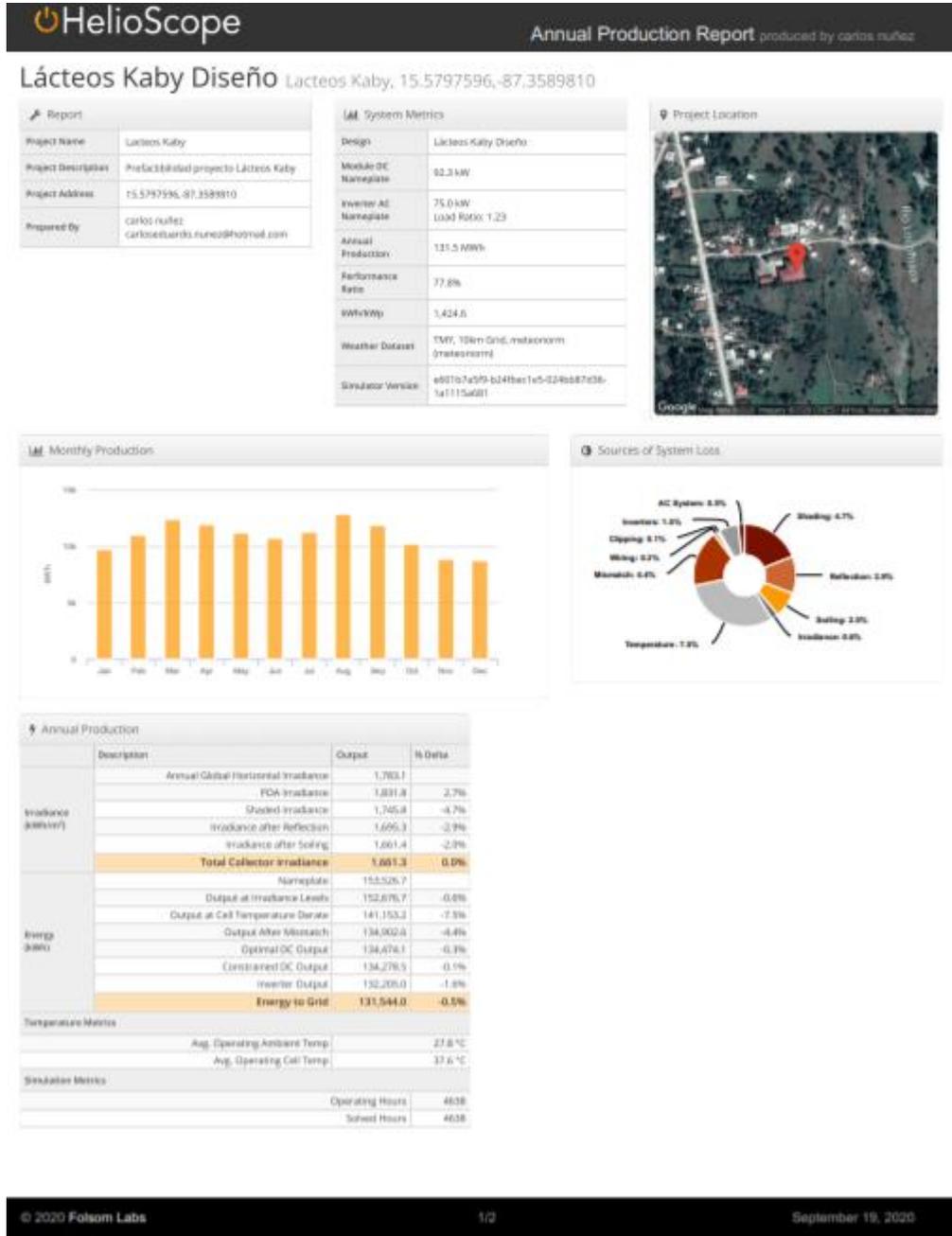
*Plan de Gestión Municipal San Pedro Sula*. (2015).

Rankia S.L. (2020). *Tasa Interna de Retorno: Definición, Calculos y Ejemplos*. Obtenido de Rankia: <https://www.rankia.cl/blog/mejores-opiniones-chile/3391122-tasa-interna-retorno-tir-definicion-calculo->



# Anexos

## ANEXO 1 – SIMULACIÓN HELIOSCOPE



Condition Set												
Description:	Condition Set 1											
Weather Dataset:	TMF, 10km Grid, meteorom (meteorom)											
Solar Angle Location:	Meteo Lab/Lng											
Transposition Model:	Perez 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	-0.0405	0°C								
Soiling (%)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	D	N	D
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Irradiation Variance:	5%											
Cell Temperature Spread:	4° C											
Module Binning Range:	-2.5% to 2.5%											
AC System Derate:	0.50%											
Module Characterizations	Module	Uploaded By	Characterization									
	Hiku CS3w-40SP (CanadianSolar)	Folsom Labs	Spec Sheet Characterization, PMN									
Component Characterizations	Device	Uploaded By	Characterization									
	CSI-25K-1400GL02-E (Canadian Solar Inc.)	Folsom Labs	Default Characterization									

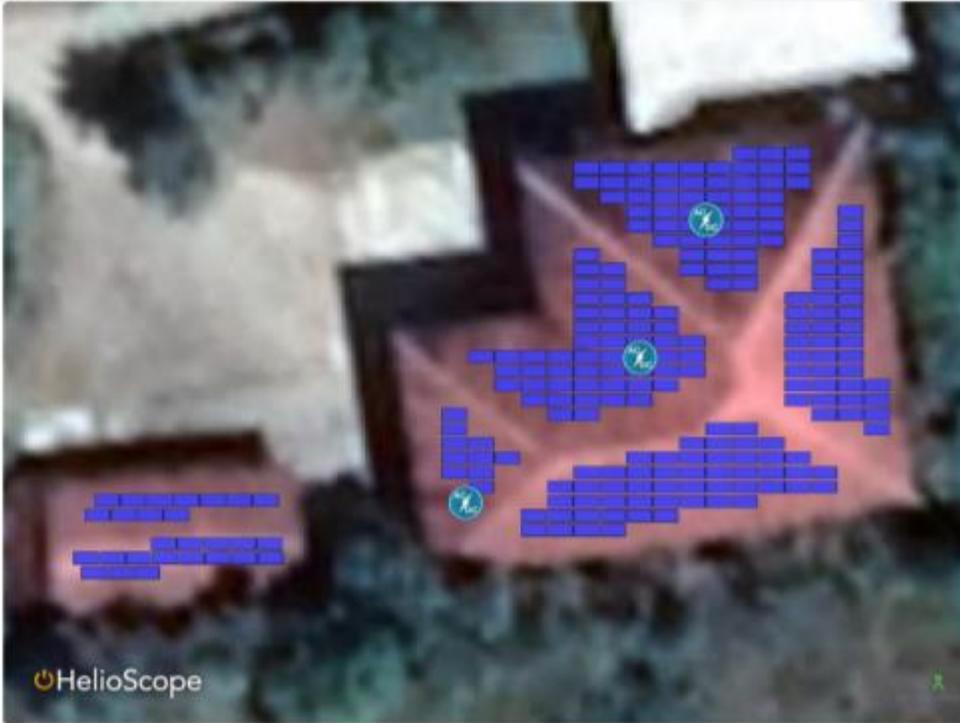
Components		
Component	Name	Count
Inverters	CSI-25K-1400GL02-E (Canadian Solar Inc.)	3 (75.0 kW)
Strings	10 AWG (Copper)	12 (306.3 m)
Module	CanadianSolar, Hiku CS3w-40SP (405W)	228 (92.3 kW)

Wiring Zones			
Description	Combiner Poles	String Size	Stringing Strategy
Wiring Zone	12	6-20	Along Racking

Field Segments									
Description	Racking	Orientation	Tilt	Azimuth	Intrarow Spacing	Frame Size	Frames	Modules	Power
Field Segment 1	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	15°	180°	0.2 m	1x1	27	206	83.4 kW
Field Segment 2	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	15°	180°	0.2 m	1x1	27	27	10.9 kW

Detailed Layout

Detailed Layout



## ANEXO 2 – ANÁLISIS FINANCIERO

Parámetros de entrada			Parámetros de entrada	
Capacidad instalada [kWp]	92.30		Dólar a lempira	24.5023
Costo de capital específico [\$/kWp]	\$ 1,494.77	L 37,369.17	Tarifa [Lps]	4.2868
Tasa de inflación [%]	1.5%		Tarifa [\$]	0.1750
Incremento en tarifa anual [%]	1.5%		LCOE [\$/kWh]	0.0388
Costos por OyM [\$/kW*año]	\$ 19.00	L 475.00	LCOE HOMER [Lps/kWh]	5.15
Costo capital total [\$]	\$137,966.98	L 3,380,508.33	LCOE HOMER [\$/kWh]	0.2102
Inversión fondos propios [%]	100%		OyM/año [Lps/año]	43,842.50
Inversión fondos propios [\$]	\$137,966.98		Energía diaria [kWh/día]	289.00
Tasa impositiva (ISR) [%]	25%			
Seguro [\$/año]	\$ 344.92		Parámetros de salida	
Inversión social y ambiental [\$]	\$ -		B/C	1.30
Vida útil del proyecto [años]	25		Período de recuperación	3.17
Costo de capital promedio ponderado [%]	9.55%		TIR	25%
Energía generada al año [kWh/año]	187,600.00		VAI	\$ 197,191.32
Depreciación	0.50%		VAC	\$ 152,074.99
Reinversión en el año 13 [\$]	11,270.00		VAN	\$ 180,001.20
			ROI	130%





