

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**DISEÑO Y ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA DOTAR  
DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE BAJA TENSIÓN PARA  
UNA UNIDAD HABITACIONAL Y UN SISTEMA DE  
EXPLOTACIÓN GANADERA INTENSIVA, COMBINADO  
ENERGÍA FOTOVOLTAICA, EN SIQUIRRES, LIMÓN,  
COSTA RICA.**

**EDHYER ARTAVIA BRICEÑO**

**SEDE ARANJUEZ, MARZO, 2023.**

## TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS .....	2
TABLA DE TABLAS .....	9
DEDICATORIA .....	13
AGRADECIMIENTO .....	14
RESUMEN EJECUTIVO .....	15
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	16
1.1 Planteamiento del Problema.....	16
1.2 Título.....	16
1.3 Problema .....	16
1.4 Objetivo general.....	16
1.5    Objetivos específicos.....	17
1.6 Justificación .....	17
1.7 Proyecciones .....	17
CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL .....	18
2.1 Limitaciones.....	18
2.2 Antecedentes .....	18
2.2.1 Antecedentes nacionales.....	18
2.2.2 Antecedentes Internacionales .....	21
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.....	26
3.1 Instalación Eléctrica .....	26
3.2 Circuito eléctrico.....	27
3.3 Magnitudes eléctricas.....	27

3.3.1. Resistencia (R).....	28
3.3.2. Intensidad de corriente (I).....	28
3.3.3. Densidad de corriente ( $\delta$ ).....	28
3.3.4. Tensión eléctrica (U) .....	29
3.3.5. Potencia eléctrica (P).....	29
3.3.6. Energía eléctrica (E).....	29
3.4 Corriente continua.....	29
3.5 Corriente alterna.....	30
3.6 Caída de tensión .....	30
3.7 Sistema de puesta a tierra.....	32
3.8 Baja tensión.....	32
3.9 Media Tensión.....	32
3.10 Cable eléctrico.....	32
3.11 Tipos de conductores eléctricos .....	33
3.11.1. Conductor de alambre desnudo .....	33
3.11.2. Conductor de alambre aislado .....	33
3.11.3. Conductor de cable flexible.....	33
3.11.4. Conductor de cordón .....	33
3.12 Selección de conductores.....	33
3.13 Calibres de conductores .....	33
3.14 El transformador .....	34
3.15 Funcionamiento de los transformadores eléctricos.....	35
3.16 Transformador reductor .....	36
3.17 Transformador Elevador .....	36
3.18 El transformador monofásico.....	37

3.19 Radiación solar.....	38
3.18.1. Radiación directa .....	39
3.18.2. Radiación difusa .....	39
3.18.3. Albedo o radiación reflejada.....	39
3.19 Paneles Solares.....	40
3.20 Panel solar fotovoltaico.....	40
3.21 Autoconsumo Fotovoltaico .....	41
3.22 Sistemas aislados.....	41
3.23 Sistemas de conexión a red. ....	42
3.24 Tipos de paneles fotovoltaicos.....	42
3.25 Paneles solares monocristalinos de celdas de silicio .....	43
3.26 Paneles fotovoltaicos policristalinos de silicio .....	43
3.27 Paneles solares fotovoltaicos de capa fina .....	44
3.28 Ubicación de los paneles solares.....	44
3.29 La superficie disponible .....	45
3.30 Orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos.....	45
3.31 Incidencia de sombras.....	46
3.31.1. Separación entre hileras de paneles solares .....	46
3.32 Tipos de conexión de paneles fotovoltaicos .....	47
3.32.1. Conexión en serie .....	47
3.32.2. Conexión en paralelo .....	48
3.33 Procedimiento de cálculo de Sistema fotovoltaico .....	48
3.34 Radiación global horizontal Kw/h/m <sup>2</sup> (H_Gh).....	49
3.35 Numero de paneles solares.....	50

3.36	Inclinación de paneles solares.....	50
3.37	Cálculo de inversor .....	51
3.38	Generación distribuida y Sistemas conectados a la red .....	51
3.39	Artículos de la norma técnica AR-NT-POASEN-2015 .....	52
3.39.1.	Artículo 3. Definiciones .....	52
3.39.2.	Artículo 124. Modalidades de generación distribuida para autoconsumo con fuente renovables interconectadas a la red.....	52
3.39.3.	Artículo 124. Generación distribuida para el autoconsumo en su modalidad de medición neta sencilla .....	52
3.39.4.	Artículo 127. Relación empresa distribuidora con productores y consumidores. .	53
3.39.5.	Artículo 128. Cumplimiento de la normativa técnica en materia de distribución.	53
3.40	Artículos de la Norma técnica AR-NT-SUCOM.....	53
3.40.1.	Artículo 126. Libre interconexión y operación de generadores a la red de distribución.....	53
3.40.2.	Artículo 127. Requisito para la interconexión de generadores a la red de distribución.....	54
3.40.3.	Artículo 128. Capacidad de acceso.....	54
3.40.4.	Artículo 129. Limitaciones de acceso.....	54
3.40.5.	Artículo 131. Punto de interconexión.....	54
3.40.6.	Artículo 132. Contrato de interconexión. ....	55
3.40.7.	Artículo 133. Cargo por acceso e interconexión a la red de distribución.....	55
3.40.8.	Artículo 136. Sistema de medición.....	55
3.40.9.	Artículo 137. Facturación de la modalidad contractual, “Medición Neta Sencilla” .....	56
3.41	Artículos del reglamento de generación distribuida para autoconsumo de fuentes renovables en su modalidad neta sencilla. ....	56

3.41.1. Artículo 34. Autorización para el almacenamiento y retiro de energía .....	56
3.41.2. Artículo 41. Pagos de excedentes de energía. ....	56
3.42 Normativa de construcción de líneas de media tensión ICE.....	56
3.43 Fundamentos de matemáticas financieras.....	56
3.44 Flujo de caja descontado. ....	57
3.45 Valor neto actual. ....	57
3.45.1. Beneficios del VAN.....	58
3.46 Tasa interna de retorno (TIR).....	59
4.47 Periodo de recuperación.....	60
4.48 Sistema de confinamiento bovino .....	61
4.49 Picapasto .....	62
4.50 Mixer vertical.....	63
4.51 Bomba de purines.....	63
4.52 Inversores .....	64
<b>CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>65</b>
4.1 Enfoque de la investigación .....	65
4.2 Tipo de investigación .....	66
4.2.1. Exploratorio .....	66
4.2.2. Descriptivo.....	67
4.2.3. Correlacionales .....	67
4.3 Diseño de la investigación .....	67
4.4 Fuentes de información.....	68
4.4.1. Fuentes Primarias .....	68
4.4.2. Fuentes Secundarias .....	68

4.5 Muestra de la investigación.....	69
4.6 Población.....	69
4.7 Variables .....	69
4.8 Instrumentos.....	71
CAPÍTULO V: DESARROLLO .....	73
5.1 Evaluación de la propiedad en estudio.....	73
5.1.1. Evaluación de la calidad del voltaje del suministro eléctrico actual en la propiedad en estudio .....	73
5.1.2. Ubicación del proyecto.....	75
5.2 Análisis de la normativa.....	75
5.3 Propuestas de diseño .....	76
5.3.1. Necesidades energéticas de la propiedad en estudio .....	76
5.3.2. Propuesta 1: <i>Booster</i> de transformadores para la totalidad de la carga .....	81
5.3.3. Propuesta 2: Sistema fotovoltaico combinado con una acometida independiente para una unidad habitacional.....	88
5.3.3.5. Cálculo de cobertura mensual de módulos fotovoltaicos .....	93
5.4 Estimación de presupuestos a las propuestas 1 y 2.....	102
5.4.1. Inversión de la Propuesta 1: <i>Booster</i> de transformadores para la totalidad de la carga .....	103
5.4.2. Inversión de la Propuesta 2: Sistema fotovoltaico combinado con una acometida independiente para una unidad habitacional .....	104
5.5 Evaluación técnica y financiera de las propuestas solución .....	106
5.5.1. Comparación de escenarios en el ámbito de inversión .....	106
5.5.2. Comparación de escenarios en el ámbito financiero .....	107
5.5.3. Comparación de escenarios en el ámbito técnico.....	114
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	116

6.1 Conclusiones.....	116
6.2 Recomendaciones.....	117
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
ANEXOS .....	127
Anexo 1. Hoja de datos de los paneles solares .....	127
Anexo 2. Cotización de los Boosters por Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica .....	129
Anexo 3. Cotización de suministros de materiales y mano de obra por Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica.....	132
Anexo 4. Cotización de suministros de materiales por Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica para el sistema fotovoltaico.....	135
Anexo 5. Tarifas vigente ICE .....	137
Anexo 6. Plano eléctrico de la unidad habitacional .....	139

## TABLA DE TABLAS

Tabla 1 Magnitudes eléctricas.....	28
Tabla 2 Amperajes de cables de cobre .....	34
Tabla 3 Cargas sistema de confinamiento.....	76
Tabla 4 Resumen unidad habitacional.....	80
Tabla 5 Resumen de Cargas Totales .....	81
Tabla 6 Caída de voltaje mínima permitida .....	82
Tabla 7 Parámetro de cálculo para protección del booster.....	83
Tabla 8 Caída de tensión para acometida.....	85
Tabla 9 Cálculo de caída de tensión.....	86
Tabla 10 Características de acometida .....	86
Tabla 11 Calculo de caída de tensión.....	87
Tabla 12 Características de acometida .....	88
Tabla 13 Características técnicas del JAM72S30 525MR .....	88
Tabla 14 Horario de operación y equipos en operación.....	89
Tabla 15 Determinación de energía.....	89
Tabla 16 Datos meteorológicos Milano Siquirres.....	91
Tabla 17 Consumo mensual sistema confinamiento .....	93
Tabla 18 Generación sobredimensionada.....	95
Tabla 19 Estimación de paneles ajustados .....	96
Tabla 20 Producción de energía con número de paneles ajustado .....	97
Tabla 21 Distribución de paneles por string y strings por inversor .....	101
Tabla 22 Resumen de costos de inversión.....	106
Tabla 23 Detalle de costo de energía mensual bajo escenario 1 .....	107
Tabla 24 Retorno de inversión escenario 1 .....	108
Tabla 25 Calculo económico de energía producida y consumida sistema solar aislado para confinamiento.....	110
Tabla 26 Resumen de costo de energía para el escenario 2 .....	112
Tabla 27 retorno de inversión escenario 2.....	113
Tabla 28 Comparativo técnico de escenarios .....	114

## TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1 Circuito eléctrico .....	27
Imagen 2 Corriente continua .....	29
Imagen 3 Corriente alterna .....	30
Imagen 4 Recomendaciones NEC .....	30
Imagen 5 Representación gráfica de un transformador monofásico .....	35
Imagen 6 transformador eléctrico simple .....	36
Imagen 7 Transformador reductor .....	36
Imagen 8 Transformador elevador .....	37
Imagen 9 Transformador monofásico .....	37
Imagen 10 Diagramas de radiación Solar .....	38
Imagen 11 Tipos de Radiación .....	39
Imagen 12 Mapa de irradiación solar en costa rica .....	40
Imagen 13 Sistema aislado .....	41
Imagen 14 Sistema conectado a la Red .....	42
Imagen 15 Diferentes tipos de techos .....	44
Imagen 16 Vista Planta de área disponible .....	45
Imagen 17 Ejemplos de inclinaciones .....	46
Imagen 18 Conexión en Serie de paneles solares .....	47
Imagen 19 Conexión en paralelo de paneles solares .....	48
Imagen 20 Irradiación global media anual .....	50
Imagen 21 Ecuación para cálculo de VAN .....	58
Imagen 22 Ecuación para cálculo de TIR .....	60
Imagen 23 Confinamiento .....	62
Imagen 24 Picapastos .....	62
Imagen 25 Mixer .....	63
Imagen 26 Bomba de Purines .....	64
Imagen 27 Medición de voltaje sin carga .....	74
Imagen 28 Voltaje con carga .....	74
Imagen 29 Ubicación del proyecto .....	75
Imagen 30 Simbología iluminación .....	77

Imagen 31 Planta de distribución de iluminación .....	78
Imagen 32 Planta de distribución de tomacorrientes .....	79
Imagen 33 Esquemático de acometida general con <i>Booster</i> .....	83
Imagen 34 Vista de interfaz de descarga de software .....	91
Imagen 35 Mapa de irradiación de Costa Rica.....	92
Imagen 36 Área disponible de instalación .....	99
Imagen 37 Ficha técnica de panel solar.....	99
Imagen 38 Datos técnicos de inversor seleccionado .....	100
Imagen 39 Diagrama de conexión de paneles e inversor .....	102
Imagen 40 Diagrama Unifilar Booster 100% carga .....	103
Imagen 41 Cuadro de costos Booster 100% carga.....	103
Imagen 42 Detalle de acometida unidad habitacional independiente .....	104
Imagen 43 Cuadro de costos acometida unidad habitacional independiente .....	105
Imagen 44 Resumen de costos de inversión.....	105
Imagen 45 Tarifa residencial horaria.....	109
Imagen 47 Condiciones financieras de inversión.....	111

**TABLA DE GRÁFICAS**

Gráfica 1 Retorno de inversión escenario 1 .....	109
Gráfica 2 Retorno de inversión .....	114

## RESUMEN EJECUTIVO

A raíz de la pasada pandemia que puso al mundo en una pausa en todos los ámbitos, productivo, económico, social, educativo, etc., surgieron un sin número de pequeños emprendimientos buscando solventar económicamente los ingresos no percibidos en las actividades cotidianas, esto conlleva a iniciar un pequeño proyecto de explotación ganadera bajo el sistema de confinamiento, y obligó a aumentar la demanda energética en el servicio residencial existente, y con este aumento en la demanda surgieron inconvenientes, tales como el calibre y distancia de acometida existentes, la caída de voltaje ha sido desde entonces un factor en contra del desarrollo normal de la actividad.

Este trabajo se enfoca en la búsqueda de una solución definitiva y eficiente para este problema, con lo cual se espera poder seguir operando el sistema de confinamiento de forma más eficiente tanto técnica como económicamente, inclusive poder aumentar el volumen de operación y maximizar los ingresos.

La metodología utilizada fue de enfoque cuantitativo, en el cual se aplicaron herramientas ingenieriles como: necesidades energéticas de la propiedad en estudio, la determinación de cargas y los factores de demanda, adicionalmente, se realizaron estudios financieros para determinar los análisis de inversión y de retorno de ésta.

Como principales resultados se obtuvo: se formuló una propuesta basada en un sistema de Booster de transformadores para la totalidad de carga y un sistema fotovoltaico aislado para confinamiento, combinado con una acometida independiente para una unidad habitacional, dado que ambas soluciones podrían corregir la caída del voltaje del sistema en estudio. Adicionalmente, se determinó que la opción del sistema de Booster, conlleva una menor inversión económica, sin embargo, el sistema fotovoltaico, presentó un retorno de inversión favorable y una solución óptima para la propiedad en estudio, ya que además de brindar ahorro económico, presenta la oportunidad de realizar su producción ganadera con energía limpia y renovable.

Con la investigación, se llegó a la conclusión, de que la propuesta que representa la solución técnica y económica óptima para la propiedad en estudio es la implementación del sistema fotovoltaico aislado para confinamiento, combinado con una acometida independiente para una unidad habitacional.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

Se encuentra una situación puntual y particular, donde se requiere el transporte de energía eléctrica para su consumo en un sistema de ganadería en confinamiento, en donde la disponibilidad de un servicio de media tensión y la distancia desde la fuente de red disponible, juegan un papel importante, el primero porque no se dispone de servicio en media tensión y el proveedor de servicio no tiene disponible el servicio en la zona, y el segundo porque al ser una longitud considerable no es viable su transporte en tensión 120/240 VAC debido a que, los niveles de caída de voltaje serían inmanejables.

Por otra parte, y no menos relevante, se tiene el factor económico, donde el consumo previsto desde la red pública prevé una factura elevada y, por ende, un costo en la producción que afecta las utilidades es por esto que se realizara una propuesta de fuente alternativa de suministro de energía a través de paneles fotovoltaicos.

### **1.2 Título**

Diseño y estudio de factibilidad para dotar de un sistema eléctrico de baja tensión a una unidad habitacional y un sistema de explotación ganadera intensiva, combinado energía fotovoltaica, en Siquirres, Limón, Costa Rica.

### **1.3 Problema**

¿Cuál sería la solución óptima para obtener un suministro eléctrico de calidad en baja tensión, que contemple soluciones de energía renovables y cumpla con la normativa vigente; para una explotación ganadera y casa de habitación?

### **1.4 Objetivo general**

Diseñar y evaluar cuál es la opción óptima para dotar el suministro eléctrico en baja tensión, combinado con una solución fotovoltaica, para una casa de habitación y una explotación ganadera en Siquirres, Limón, Costa Rica.

### **1.5 Objetivos específicos**

1. Realizar una investigación y evaluación de las condiciones del suministro eléctrico actual en la propiedad en estudio.
2. Investigar la normativa aplicable a los sistemas de baja tensión y a los sistemas de generación fotovoltaica en el país.
3. Diseñar 2 propuestas que se adapten a las necesidades de la propiedad en estudio y que cumplan con las normativas vigentes analizadas en la investigación.
4. Estimar un presupuesto para cada una de las propuestas.
5. Recomendar a partir de la evaluación técnica y financiera de las propuestas, la solución óptima para la propiedad en estudio.

### **1.6 Justificación**

A raíz de la aparición de la pandemia en el mundo y su afectación en la economía general, se inició este proyecto como una fuente alternativa de ingresos, sin embargo, en la zona donde se ubica el mismo se cuenta con precarias instalaciones eléctricas y limitada oferta de potencia.

La eficiencia en el proceso de desarrollo y engorde en una explotación intensiva, como es este caso, implica desde la correcta elección de los animales a confinar, la correcta formulación de la dieta a utilizar, hasta la seguridad eléctrica y la minimización de costos el máximo posible, de ahí la razón por la que este trabajo pretende crear una red eléctrica segura, eficiente y con alternativas que influyan positivamente en los costos.

### **1.7 Proyecciones**

Al realizar el diseño eléctrico de este proyecto se buscan varios resultados, dentro de los cuales pueden mencionar los siguientes:

- Establecer el presupuesto y costo real del proyecto.
- Evaluar la viabilidad de trabajar cargas con energía fotovoltaica.
- Implementar las normativas aplicables en el sistema eléctrico.

## **CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL**

### **2.1 Limitaciones**

Dentro de las principales limitaciones del proyecto se encuentra la no disponibilidad de servicio de media tensión por parte del proveedor de servicio en la zona.

### **2.2 Antecedentes**

#### **2.2.1 Antecedentes nacionales**

##### **Antecedente 1: Diseño eléctrico para una estación de bomberos.**

Universidad: Universidad Internacional de las Américas

Autor: Roberto Antonio Bonilla Valverde

Año: 2014

La tesis del ingeniero Roberto Bonilla Valverde, para optar por el grado de bachiller en ingeniería electromecánica, se formula la necesidad de generar un diseño modular de una estación de bomberos cuya área va directamente proporcional al tamaño de la población en la que se ubique, define las normas a aplicar para su realización, establece el sistema de puesta a tierra de cada estación y realiza cálculos de costos de construcción de su diseño.

El ingeniero Bonilla determinó que para los cálculos de resistividad de la tierra en el sitio donde se construye la malla de tierra, no es tan preciso y por lo tanto, el método más preciso es el de la medición directa, utilizando un equipo adecuado y debidamente calibrado, este dato será de suma importancia para el desarrollo del presente trabajo puesto que se aplicará la misma metodología.

##### **Antecedente 2: Modelo de gestión energética en el Hotel Condovac La Costa.**

Universidad: Tecnológico de Costa Rica

Autores: Byron Pérez Camareno

Año: 2015

En el informe de práctica de especialidad para optar por el grado de Ingeniero en Mantenimiento Industrial, el autor Byron Pérez Camareno, diseñó e implementó un Modelo de Gestión Energética

aplicado al área eléctrica del Hotel Condovac la Costa, con el propósito de reducir el consumo eléctrico mensual, mediante el uso racional y eficiente de la energía.

Pérez realizó un análisis con el fin de implementar OCE's, enfocado en la inversión de tecnologías más eficientes que ayuden a reducir el consumo energético eléctrico del hotel. De igual manera, implementó una campaña de concienciación energética, al considerar que de nada sirve invertir en tecnologías más eficientes, si no se les da un uso apropiado.

En esta investigación, el autor presenta modelos de gestión energética, uso racional y eficiente de la energía, métodos de consumo y demanda eléctricos, éstos, son aportes importantes para el presente trabajo.

### **Antecedente 3: Energías renovables aplicables para el edificio de Amazon Seller Support**

Universidad: Universidad Internacional de las Américas

Autor: Ingeniero José Omar Quintanilla García.

Año: 2017

La tesis de José Omar Quintanilla García para optar por el título de bachiller en ingeniería electromecánica, plantea el análisis y evaluación de condiciones específicas para la implementación de energías renovables en un edificio de oficinas de la empresa Amazon, el ingeniero quintanilla plantea un escenario en el que evalúa cuál es la fuente más adecuada según las características ambientales de la zona para poder establecer la viabilidad del proyecto; y a partir de estos datos plantea una análisis financiero en varios escenarios y logra determinar la fuente y el diseño óptimos.

En su tesis el ingeniero Quintanilla hace referencia los dos tipos de instalación de sistemas fotovoltaicos como lo son las instalaciones aisladas de la red eléctrica y las instalaciones conectadas a la red eléctrica convencional, además hace referencia a las normas técnicas aplicables.

### **Antecedente 4: Rediseño de la instalación eléctrica de la planta de envases Comeca S.A.**

Universidad: Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC)

Autor: Ing. Kevin Elizondo Picado

Año: 2018

La tesis del ingeniero Kevin Elizondo Picado para obtener el grado de ingeniero en mantenimiento industrial, grado Licenciatura en la Escuela de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Costa Rica corresponde a un rediseño de instalación eléctrica en media tensión para adecuarla a 35.5 kV / 19.9 kV, nivel de tensión requerido por la compañía prestadora del servicio eléctrico de la zona, además en su trabajo indica que su diseño ira de la mano con la normativa aplicable, sin dejar de lado el tema económico.

En su trabajo el ingeniero Elizondo realiza un análisis integral del proyecto, tomando en cuenta aspectos importantes como son las cargas críticas, los sistemas de puesta a tierra y fallas por cortocircuito, para luego realizar el respectivo diseño.

#### **Antecedente 5: Ahorro energético en la empresa Geo tecnologías S.A. por medio de un sistema eólico, fotovoltaico y mixto.**

Universidad: Universidad Internacional de las Américas

Autor: Ing. Minor Vindas Calderón.

Año: 2018

La tesis del ingeniero Minor Vindas Calderón para optar por el título bachiller en ingeniería electromecánica plantea el reto de producir un ahorro económico con la utilización de fuentes renovables como lo son la eólica y la solar para un edificio de oficinas.

El autor utiliza datos del clima y condiciones atmosféricas obtenidos del Instituto Meteorológico Nacional, así como imágenes satelitales de la NASA.

En su trabajo hace referencia a los diferentes tipos de paneles solares disponibles en el mercado y a la metodología que se debe seguir para una correcta instalación, así como a las diferentes marca y casas fabricantes disponibles.

Para el presente trabajo tomaremos algunos de los procedimientos de calculo que utiliza el autor para la determinación de cantidad de paneles solares a instalar y método para la proyección de consumos.

#### **Antecedente 6: Rediseño del sistema eléctrico de la Fábrica Nacional de Licores.**

Universidad: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Autor: Miguel Ramiro Quesada Bolaños

Año: 2020

La tesis del ingeniero Miguel Quesada Bolaños, para optar por el grado de licenciatura en mantenimiento industrial, se plantea la problemática de una instalación eléctrica existente de más de 40 años y que actualmente está obsoleta e incumple las normas NFPA 70 y NEC 2014, condiciones que limitan la productividad de la empresa y más importante aún, pone en riesgo de lesión grave o inclusive la muerte a los usuarios.

Para el presente trabajo se tomará en cuenta normas y métodos de cálculo utilizados por el autor.

### **2.2.2 Antecedentes Internacionales**

#### **Antecedente 1: Energías renovables y generación distribuida en el ámbito rural del partido de General Pueyrredon.**

Universidad: Universidad Nacional de Mar del Plata. Argentina.

Autor: Juan Pablo Castellano y Fabián Gebrikian

Año: 2012

En su trabajo de graduación para obtener el grado de ingenieros electromecánicos, los señores Castellano y Gebrikian realizan un análisis de las diferentes fuentes de energía alternativa disponibles en el entorno argentino, biomasa, solar, eólica, entre otros, y proponen alternativas de generación distribuida para lograr el beneficio de la mayor cantidad de población en términos de ahorro en costos de la energía y además disminuir el impacto de la producción de energías contaminantes como la térmica, entre otras.

En esta investigación, se desarrollan modelos para unidad habitacionales rurales básicas, centros educativos y su correspondiente diseño para suministro de energía con fuentes renovables y convertir sus sistemas individuales en micro generadores de la red macro.

Los autores además determinan un análisis técnico económico de soluciones, a partir de energías renovables como micro generadores aislados y generan esquemas de los modelos a partir de un simulador.

En su trabajo se concluye que el sistema de generación con sistema aislado es el que mejor resultados arrojaría a los propietarios, esto por cuanto con la legislación actual de Argentina no se incentiva de ninguna manera la cogeneración, ni en términos económicos puesto que no es rentable, ni en términos de garantizar el acceso al equipamiento de los que menos recursos tienen para realizar la inversión.

**Antecedente 2: Estudio de pre factibilidad e implementación de paneles solares para la electrificación de las oficinas de la empresa Electromecánica Especializada, ubicada en el barrio Costa Rica en la ciudad de Managua.**

Universidad: Universidad Nacional de Ingeniería. Nicaragua.

Autor: Ariel Mauricio Cáceres Bucardo y Ernestina de los Ángeles Estrada Hernández

Año: 2018

La tesis de los ingenieros Ariel Mauricio Cáceres Bucardo y Ernestina de los Ángeles Estrada Hernández, para optar por el grado de maestría en Gerencia de Proyectos de Desarrollo, realiza un estudio de prefactibilidad e implementación del uso de paneles solares como fuente de energía alternativa a la comercial convencional con que cuenta el edificio y realiza un análisis financiero

de la viabilidad de este, propone un ahorro en términos económicos importante para la empresa y evalúa el impacto ambiental de su implementación.

Los autores recomiendan cambiar la tecnología de algunos dispositivos eléctricos como, luminarias convencionales por LED y equipos de aire acondicionado más eficientes.

El presente trabajo tomara referencias de marcas de equipos utilizados por los autores, así como metodologías utilizadas para el cálculo de cargas y sus costos.

**Antecedente 3: Diseño de un sistema de riego inteligente por aspersión utilizando energía fotovoltaica para café y cacao en el centro experimental La “Playita de la Universidad Técnica de Cotopaxi”**

Universidad: Universidad Técnica de Cotopaxi. Ecuador

Autor: David Orlando Mera Gallo y David Wladimir Vascones Quinteros

Año: 2020

En su tesis para optar por el título de ingenieros electromecánicos los autores Mera Gallo y Vascones Quinteros, diseñan un sistema de control inteligente de riego para agricultura alimentado por energía renovable fotovoltaica, su trabajo se sustente en estudios de requerimiento de agua o humedad de los diferentes cultivos, cacao y café en este caso, y como automatizar su ejecución, puesto que se encuentran con el problema de que todas las actividades de riego se realizan manualmente, siendo esta una actividad demanda recurso humano prácticamente a diario.

Los autores logran determinar cuál es el sistema de riego y tipo de bomba que mejor se adapta a las necesidades de los cultivos, realizan un análisis de la demanda de energía de los equipos involucrados tanto de potencia como de control, y con base en estos datos dimensionan el sistema de paneles solares necesario para mantener un suministro de energía suficiente y eficiente.

Los autores concluyen que es viable y posible alimentar el sistema de riego de 100 micro aspersores y 1 bomba con paneles solares, y logran implementar el proyecto. Todas las pruebas realizadas fueron exitosas y el sistema se encuentra actualmente en funcionamiento.

**Antecedente 4: Diseño de un sistema de respaldo de energía fotovoltaico para cámaras de vigilancia PTZ para la parroquia de Pifo.**

Universidad: Escuela Politécnica Nacional. Perú

Autor: Wilson Geovanny Salazar Tandayamo

Año: 2021

La tesis del ingeniero Wilson Salazar Tandayamo para optar por la obtención del título Tecnólogo en Electromecánica, realiza un diseño para el respaldo con energía fotovoltaica de un sistema de cámaras para una parroquia en Quito, Perú, donde determino que los cálculos de número de paneles dependen directamente de la corriente pico de consumo del sistema y esto, a su vez, incide directamente en el costo.

Su trabajo dio una solución a la parroquia, puesto que se encuentra en una zona sin suministro eléctrico y dejo claro que el costo de la implementación del proyecto está determinado por el tipo de tecnología que desee utilizar.

**Antecedente 5: Diseño la red de distribución eléctrica para el barrio Calluma de PIFO (Zona 2).**

Universidad: Escuela Politécnica Nacional. Perú

Autor: Edgar Augusto Raura Díaz.

Año: 2021

La tesis del ingeniero Edgar Raura Díaz para optar por la obtención del título Tecnólogo en Electromecánica, desarrolla la recopilación o levantamiento de información en campo, cálculo de demanda y carga eléctrica y el diseño de la red primaria y secundaria, sistema de alumbrado público y estimación de costos.

En su trabajo el ingeniero Raura determina la población beneficiaria y la oferta de potencia necesaria para suplir la energía a la misma y entrega un diseño completo con una estimación de costos de implementación de todo el proyecto.

**Antecedente 6: Diseño electromecánico de la línea de transmisión 10kV subestación eléctrica San Rafael – Planta B4 para la unidad minera ubicada en la región Puno.**

Universidad: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú

Autor: Edwin Paul Medina Troncos

Año: 2021

En su tesis de graduación para obtener el grado de ingeniero eléctrico el señor Medina Troncos realiza el diseño electromecánico para una línea de transmisión de media tensión, con el fin de suministrar una fuente de energía confiable a una unidad minera en la regio Puno de la República del Perú. El ingeniero autor calcula y determina por diferentes métodos las cargas mecánicas sobre estructuras de soporte para los conductores de transmisión de la energía, además, logra establecer la capacidad de transmisión de potencia nominal y temperatura máxima de operación para el sistema.

Luego de aplicar varios métodos de cálculo y diseño, el autor determinó cual es la mejor alternativa de acuerdo con el costo económico y el cumplimiento de especificaciones técnicas para el correcto funcionamiento del sistema, además, enumera una serie de pasos a seguir para la implementación, rutas geográficas a seguir, ubicación de postes y torres. Este trabajo será de útil referencia para la selección de conductores de media tensión y sus características eléctricas y mecánicas.

## CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

### 3.1 Instalación Eléctrica

Según lo indica el ICE (s.f.), “una instalación eléctrica, segura y confiable es aquella que reduce al mínimo la probabilidad de ocurrencia de accidentes que pongan en riesgo la vida y la salud de los usuarios, reduciendo la posibilidad de fallas en los equipos eléctricos”. (p. 2).

Una instalación eléctrica residencial, comercial o industrial se encarga de distribuir la energía eléctrica hasta los puntos de consumo, para su diseño se deben de tomar en cuenta una serie de factores de suma relevancia como la correcta selección de materiales y equipos; el diseño debe ser realizado por profesionales capacitados y la implementación se debe llevar a cabo con mano de obra calificada, una correcta inspección y dirección técnica del proyecto.

El ente regulador de las instalaciones eléctricas en Costa Rica es el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), se cuenta además con legislación en el Decreto 36979-MEIC (2012), el cual hace alusión a la obligatoriedad de cumplir lo establecido en el Código Eléctrico Nacional (NEC, 2014), además en dependencia de la ubicación del proyecto, aplican reglamentos propios de cada proveedor de servicio.

Una de las razones de mayor peso, de asegurarse de implementar una correcta instalación eléctrica, es la confiabilidad en la misma, como lo menciona el ICE (s.f.), la confiabilidad de una instalación eléctrica está basada en tres factores:

- Realizar un diseño de una instalación eléctrica, según el requerimiento del inmueble.
  - La instalación eléctrica debe ser realizada por un técnico calificado en instalaciones eléctricas.
  - El uso de materiales eléctricos adecuados y de buena calidad, que garanticen la vida útil de la instalación. (p. 2).

El correcto diseño de una instalación eléctrica debe estar siempre alineado con la prioridad de protección de la vida de sus usuarios, protección de los equipos que forman parte de la instalación, sin dejar de lado factores tan importantes como la calidad, seguridad y confiabilidad.

### 3.2 Circuito eléctrico

Se denomina así el camino que recorre una corriente eléctrica. Es un conjunto de elementos correctamente relacionados, que permite el establecimiento de una corriente eléctrica y su transformación en energía utilizable para cada aplicación concreta. (EcuRed, s.f., par. 2).

La interrelación correcta implica que los distintos elementos tienen que estar conectados electrónicamente, de modo que sus partes metálicas situadas en los terminales de conexión se mantengan en contacto para permitir el paso de la corriente. Todo circuito eléctrico requiere, para su funcionamiento, de una fuente de energía, en este caso, de una corriente eléctrica.

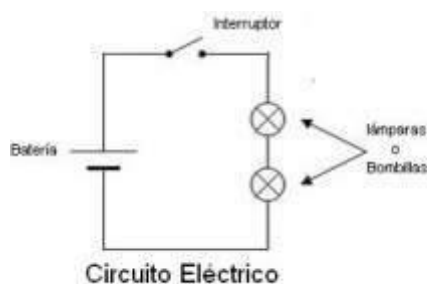


Imagen 1 Circuito eléctrico  
Fuente: EcuRed, s.f.

### 3.3 Magnitudes eléctricas

En todo circuito eléctrico se ponen de manifiesto una serie de magnitudes eléctricas, a continuación, destacaremos las más importantes, recogidas en un cuadro esquemático que contiene los símbolos de dichas magnitudes, así como las unidades en que se miden. (Carrasco, 2008, p.18).

MAGNITUD	SIMBOLO	UNIDAD	SIMBOLO	FÓRMULA
CARGA	<b>C</b>	CULOMBIO	<b>C</b>	
TENSIÓN	<b>V</b>	VOLTIOS	<b>V</b>	$V = I \times R$
INTENSIDAD	<b>I</b>	AMPERIOS	<b>A</b>	$I = V/R$
RESISTENCIA	<b>R</b>	OHMIOS	<b><math>\Omega</math></b>	$R = V/I$

POTENCIA	<b>P</b>	VATIOS	<b>W</b>	<b>P = V x I</b>
ENERGÍA	<b>E</b>	VATIO POR HORA	<b>w x h</b>	<b>E = P x t</b>

Tabla 1 Magnitudes eléctricas

Fuente: Área tecnología, s.f.

### 3.3.1. Resistencia (R)

según Mazur (2020), la resistencia “es una medida de la oposición al flujo de corriente en un circuito eléctrico”. (parr. 2).

La resistencia se mide en ohmios, que se simbolizan con la letra griega omega ( $\Omega$ ). Todos los materiales resisten en cierta medida el flujo de corriente. Se incluyen en una de dos amplias categorías:

- **Conductores:** materiales que ofrecen muy poca resistencia, donde los electrones pueden moverse fácilmente. Ejemplos: plata, cobre, oro y aluminio.
- **Aislantes:** materiales que presentan alta resistencia y restringen el flujo de electrones. Ejemplos: goma, papel, vidrio, madera y plástico. (Mazur, 2020, parr. 4).

La resistencia (R) de un conductor depende directamente de su resistividad y longitud y es inversamente proporcional a su sección.

### 3.3.2. Intensidad de corriente (I)

Es la cantidad de electrones que pasan por un punto en un segundo. (Área tecnología, s.f.).

A la cantidad de electrones o intensidad con la que circulan por un conductor cuando hay una tensión aplicada en sus extremos, se le denomina corriente eléctrica o intensidad. La unidad que mide la intensidad es el amperio (A).

### 3.3.3. Densidad de corriente ( $\delta$ )

A el número de amperios que circulan por cada  $\text{mm}^2$  de conductor, esto es, intensidad por unidad de sección. La unidad es el  $\text{A}/\text{mm}^2$ . (Área tecnología, s.f.).

### 3.3.4. Tensión eléctrica (U)

También se conoce como voltaje. Es el desnivel eléctrico existente entre dos puntos de un circuito. Su unidad es el voltio V. (Área tecnología, s.f.).

### 3.3.5. Potencia eléctrica (P)

Es la cantidad de trabajo desarrollada en la unidad de tiempo. En un circuito eléctrico es igual al producto de la tensión por la intensidad. Su unidad es el (W). (Área tecnología, s.f.).

### 3.3.6. Energía eléctrica (E)

Es el trabajo desarrollado en un circuito eléctrico durante un tiempo determinado. (Área tecnología, s.f.).

## 3.4 Corriente continua

Según Ucha (2012), la corriente continua “es energía eléctrica, es decir, electrones, que se mueven en una única dirección dentro de un conductor de forma constante”. (parr. 1).

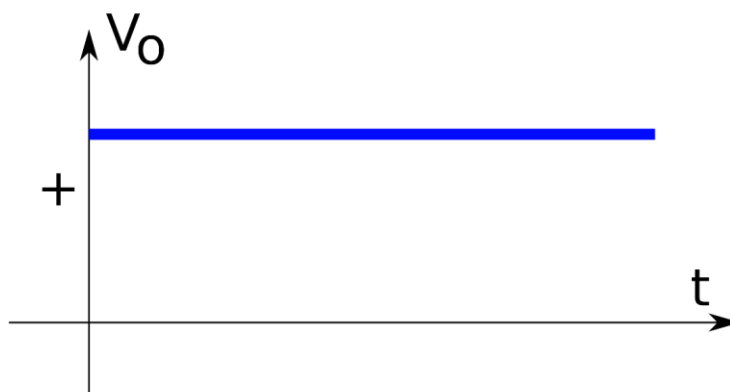


Imagen 2 Corriente continua

Fuente: CPM Solar, s.f.

La corriente continua no varía su valor en función del tiempo. En la pantalla de un osciloscopio aparece como una línea horizontal referenciada a un nivel de cero voltios.

### 3.5 Corriente alterna

Según Huergo (f.s.), la corriente alterna es “aquella que varía su magnitud en función del tiempo. La forma de onda de corriente alterna más habitual es la senoidal”. (p. 1).

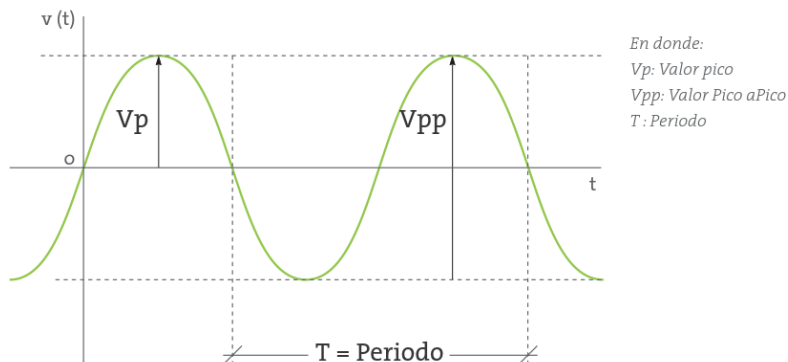


Imagen 3 Corriente alterna  
Fuente: Huergo, s.f., p. 1

### 3.6 Caída de tensión

Contrario a la creencia común, el NEC/NFPA70 no requiere u obliga que los conductores tengan un porcentaje de caída de tensión en particular, simplemente sugiere en las notas 210.19, 215.2, 230.31 y 310.15 que es bueno ajustar el cálculo de caída de tensión al dimensionar los conductores.

El NEC 2014 recomienda que la caída de voltaje máxima combinada para el alimentador más el circuito ramal no debe superar al 5% y el máximo en el circuito alimentador o ramal no debe superar el 3%.

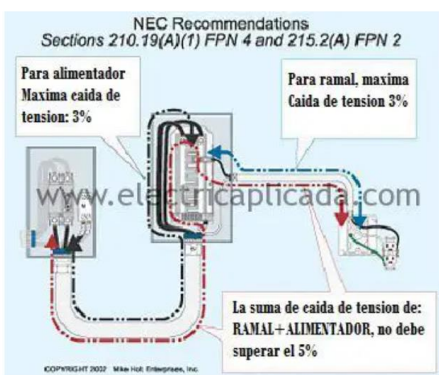


Figura 1, Editado de Mike Holt Enterprises

Imagen 4 Recomendaciones NEC  
Fuente: Electricaplicada, s.f.

El propósito del código eléctrico nacional es la protección práctica a de las personas y los bienes contra los peligros derivados del uso de la electricidad. El NEC generalmente no considera que la caída de voltaje sea un problema de seguridad, sin embargo se debe tomar en cuenta que debido a la caída de voltaje dentro de los conductores de un circuito, la tensión de operación en el equipos eléctrico será menor que la tensión de salida de la fuente de alimentación, las cargas inductivas como motores, balastos, entre otros, que operan a voltaje inferior a lo que requieren, por lo tanto, pueden sobre calentarse, lo que da como resultado una vida útil más corta del equipo y un mayor costo, así como inconvenientes para el cliente, en equipos electrónicos sensibles, como computadores, impresoras láser, fotocopiadores, entre otros, puede hacer que el equipo se bloquee o se apague repentinamente lo que provocara perdidas de datos, un aumento de los costos y posible falla del equipo.

Las cargas resistivas como calentadores, iluminación incandescente que operan a bajo voltaje no proporcionarán la salida de potencia nominal esperada. Para el cálculo de la caída de tensión se tienen las siguientes ecuaciones:

Caída de tensión sistema monofásico para conductor de cobre:

$$CV = \frac{4 \times I \times L}{A \times V}$$

Caída de tensión sistema monofásico para conductor de aluminio:

$$CV = \frac{6 \times I \times L}{A \times V}$$

Caída de tensión sistema trifásico para conductor de cobre:

$$CV = \frac{2 \times \sqrt{3} \times I \times L}{A \times VL}$$

Caída de tensión sistema trifásico para conductor de aluminio:

$$CV = \frac{3 \times \sqrt{3} \times I \times L}{A \times VL}$$

Donde,

CV: Caída de tensión en %.

I: Corriente en Amperios.

L: Longitud del circuito en metros.

A: Área del conductor mm<sup>2</sup> (Tabla 8 NEC2014).

VL: Voltaje de Línea en voltios.

### **3.7 Sistema de puesta a tierra**

La puesta a tierra es una instalación de cables de protección que van desde cada uno de los enchufes de la instalación, donde se conectarán aparatos eléctricos con partes metálicas como por ejemplo la lavadora, hasta la tierra (el terreno). (Área tecnología, s.f.).

El código eléctrico nacional en su edición 2014, establece en el artículo 250 una amplia guía para la instalación de puestas a tierra y establece en el apartado 250.56 como resistencia máxima para un electrodo de puesta a tierra de 25 ohm, si este valor se supera se deben colocar más electrodos hasta lograr un valor de resistencia menor al indicado.

### **3.8 Baja tensión**

Según la norma AR-NT-POASEN (2015) artículo.3, se establece la baja tensión como nivel de tensión igual o menor de 1kV.

### **3.9 Media Tensión**

Según AR-NT-POASEN (2015) artículo 3, se establece la media tensión como el nivel de tensión mayor a 1 kV pero menor o igual a 100 kV.

### **3.10 Cable eléctrico**

Un cable eléctrico es un conductor o conjunto de ellos, recubierto/s de un material aislante o protector, generalmente, utilizado para trasladar energía eléctrica. (ICM, 2016, parr. 2).

El mejor conductor de energía eléctrica es la plata. Sin embargo, debido a su elevado precio, habitualmente, se utilizan son el cobre o el aluminio. Este último, aunque tiene una conductividad eléctrica del 60% respecto a la del cobre, es más económico y ligero, por lo que es idóneo para líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica en las redes de alta tensión.

### **3.11 Tipos de conductores eléctricos**

#### **3.11.1. Conductor de alambre desnudo**

Éste es un solo alambre sólido de cobre sin recubrimiento. Por lo general se utiliza para la conexión a tierra, pero es poco común. (Intensity, s.f., parr. 8).

#### **3.11.2. Conductor de alambre aislado**

Mismo alambre sólido de cobre que el anterior pero cubierto con un aislamiento plástico para evitar que entre en contacto con algún otro alambre, objeto metálico o persona. Es mucho más común que el desnudo y se utiliza para el alambrado de casas y oficinas. (Intensity, s.f., parr. 11).

#### **3.11.3. Conductor de cable flexible**

Es el conductor con mayor presencia en el mercado ferretero. El cable está hecho de varios alambres delgados cubiertos por un aislamiento plástico. (Intensity, s.f., parr. 9).

#### **3.11.4. Conductor de cordón**

Consiste en dos o más cables o alambres aislados y envueltos juntos, a veces en una segunda capa de plástico. El ejemplo más común es el cordón dúplex que consiste en dos cables unidos y que se usa para fabricar extensiones o para la alimentación de aparatos eléctricos. Otro ejemplo es el cordón de uso rudo que trae, dentro de un aislamiento plástico, tres cables aislados. (Intensity, s.f., parr. 6).

### **3.12 Selección de conductores.**

Para la selección de los calibres y tipos de conductores a utilizar en la presente investigación se toma como referencia el artículo 310 del NEC 2014.

### **3.13 Calibres de conductores**

El calibre en los conductores eléctricos hace referencia al tamaño de su sección transversal, este calibre puede expresarse en mm<sup>2</sup> bajo la norma americana AWG (American Wire Gauge), cuando se expresa en AWG el calibre más grueso corresponde al 4/0, siguiendo el orden descendente 3/0, 2/0, 1/0, 1, 2, 4, 6, 8, ..., en este caso mientras más grande es el número menos es la sección transversal del conductor, para conductores con áreas mayores a 4/0 se realiza la designación en función de su área en pulgadas y se le denomina como CM (Circular Mil) o también se puede

encontrar como KCM (Kilo Circular Mil) y va en orden ascendente, entre mayor sea el KCM mayor será la sección transversal del conductor. Existe una gran variedad de tipos de conductores, con diferentes aislamientos, y para diferentes aplicaciones, en todos los casos cada calibre de conductor estará asociado a una ampacidad máxima recomendada, en la siguiente imagen podemos ver datos de algunos de los conductores más comunes en la industria de la electricidad.

Tabla 2 Amperajes de cables de cobre

Nec

Tabla 310.15(B)(16) (antes Tabla 310.16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de hasta e incluyendo 2000 volts y 60°C a 90°C (140° F a 194° F). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basadas en una temperatura ambiente de 30°C (86°F)\*.

Calibre AWG o kcmil	Temperatura nominal del conductor [Ver Tabla 310.104(A).]						Calibre AWG o kcmil
	60°C (140°F)		75°C (167°F)		90°C (194°F)		
	Tipos TW, UF		Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW		Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2		
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
18**	—	—	14	—	—	—	—
16**	—	—	18	—	—	—	—
14**	15	20	25	—	—	—	—
12**	20	25	30	15	20	25	12**
10**	30	35	40	25	30	35	10**
8	40	50	55	35	40	45	8
6	55	65	75	40	50	55	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	115	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	145	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	195	230	260	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	350	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	315	375	425	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	445	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	525	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	555	665	750	470	560	630	2000

Fuente: NEC 2014. Artículo 310, pp. 70-167.

### 3.14 El transformador

Un transformador es un dispositivo que cambia la potencia eléctrica alterna con un nivel de voltaje a potencia eléctrica alterna con otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético. Consta de dos o más bobinas de alambre conductor en rolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Estas bobinas normalmente no están conectadas en forma directa, la única conexión entre las bobinas es el flujo magnético común que se encuentra dentro del núcleo.

Uno de los devanados del transformador se conecta a una fuente de energía eléctrica alterna y el segundo y quizá el tercero suministra energía eléctrica a las cargas. El devanado del transformador que se conecta a la fuente de potencia se llama devanado primario o devanado de entrada, y el devanado que se conecta a la carga se llama devanado secundario o devanado de salida. Si hay un tercer devanado en el transformador se llama devanado terciario. (Chapman, 2012, p. 49).

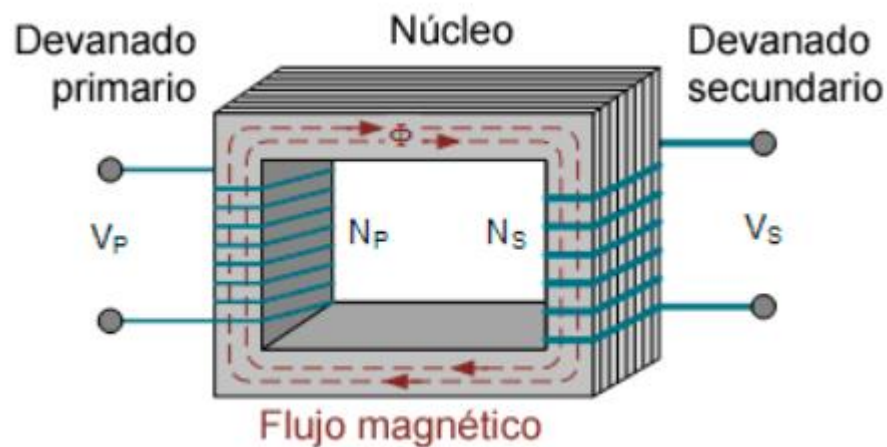


Imagen 5 Representación gráfica de un transformador monofásico  
Fuente: Omega electric, s.f.

### 3.15 Funcionamiento de los transformadores eléctricos.

El principio básico de funcionamiento de un transformador es que una corriente variable en el devanado primario crea un flujo magnético variable en el núcleo del transformador y, por lo tanto, un flujo magnético variable en el devanado secundario. Este flujo magnético variable induce una fuerza electromotriz variable (f.e.m.) o voltaje en el devanado secundario. (De máquinas y herramientas, s.f.)

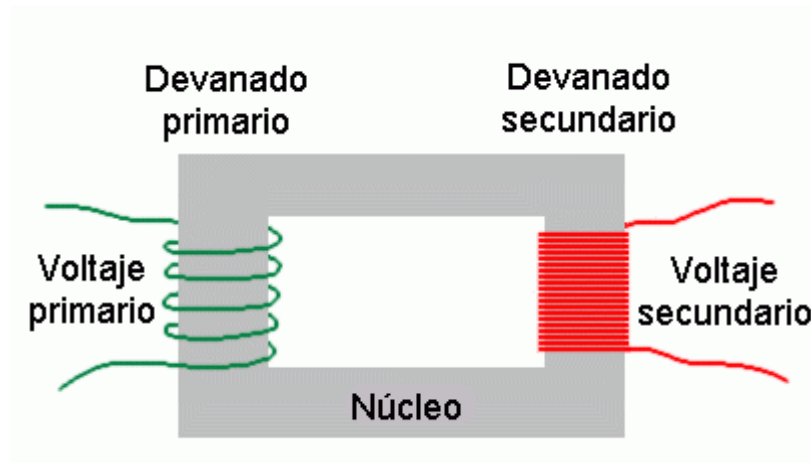


Imagen 6 transformador eléctrico simple  
Fuente: De máquinas y herramientas, s.f.

### 3.16 Transformador reductor

Están conectados de manera que el voltaje entregado es menor que el suministrado, ya que el devanado secundario tiene menos vueltas que el primario, como vemos en la figura de abajo. (De máquinas y herramientas, s.f.)

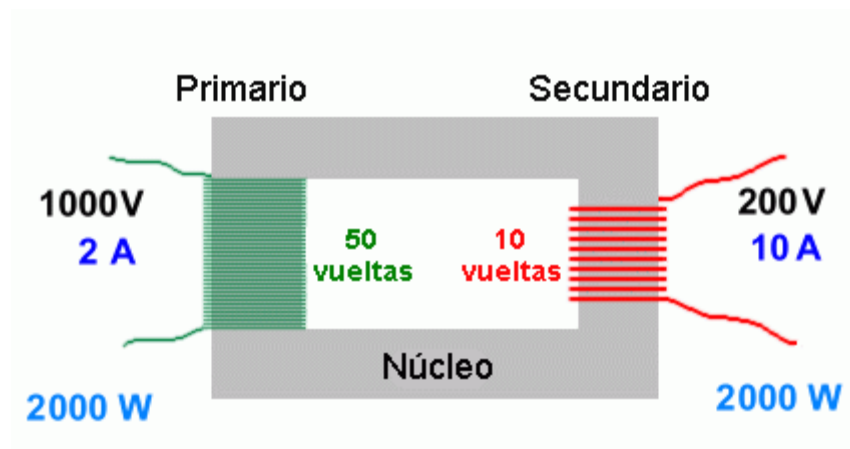


Imagen 7 Transformador reductor  
Fuente: De máquinas y herramientas, s.f.

### 3.17 Transformador Elevador

Están conectados de manera que el voltaje entregado es mayor que el voltaje suministrado, ya que el devanado secundario tiene más vueltas que el primario. (De máquinas y herramientas, s.f.)

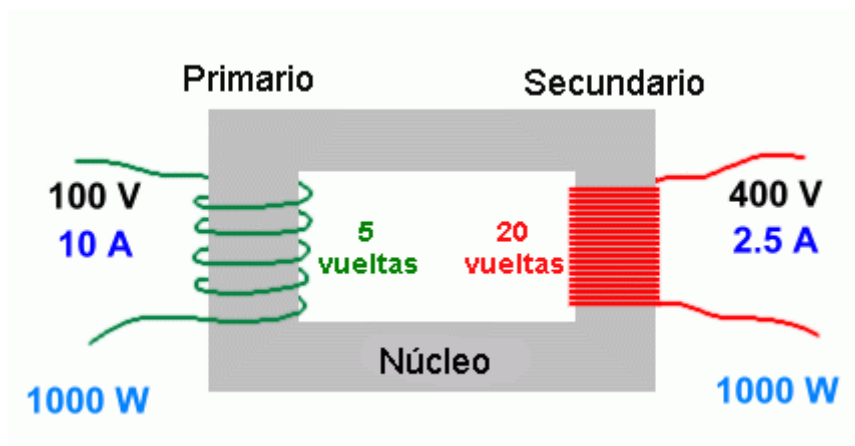


Imagen 8 Transformador elevador  
Fuente: De máquinas y herramientas, s.f.

### 3.18 El transformador monofásico

Se denomina transformador a un elemento eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal (esto es, sin pérdidas), es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño y tamaño, entre otros factores.



Imagen 9 Transformador monofásico  
Fuente: Bobinados, s.f.

### 3.19 Radiación solar

Con origen en reacciones termonucleares ocurridas en el sol, una enorme cantidad de energía es irradiada al espacio, de la cual, aproximadamente dos millonésimas parte de ella llegan a la superficie de nuestro planeta, unos  $10^{18}$  kwh/año. Sin embargo, a pesar de ser una mínima parte de la energía generada en el sol, es unas 10.000 veces la energía que consumimos en todo el planeta. (Helioesfera, s.f., parr. 3).

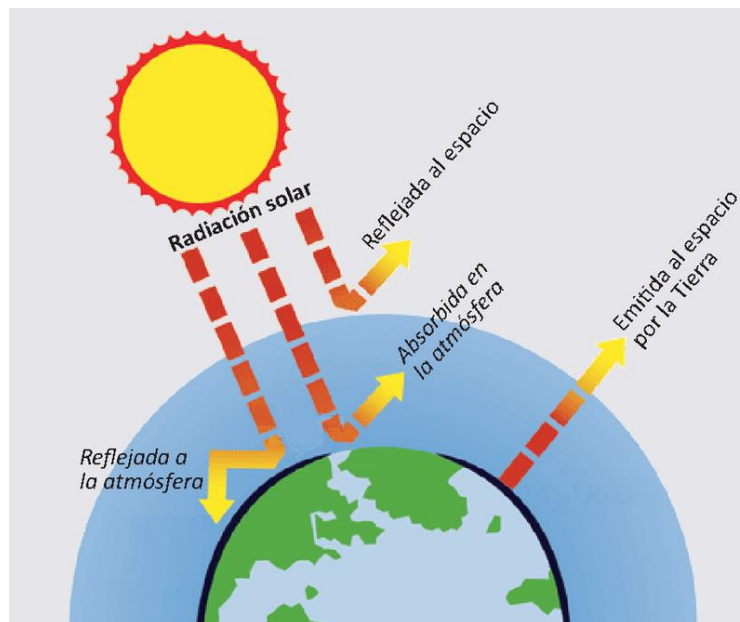


Imagen 10 Diagramas de radiación Solar  
Fuente: Helioesfera, s.f.

Debido a que la distancia entre el sol y la tierra no es constante, esta radiación tampoco lo es, varía entre 1325 y 1412 W/m<sup>2</sup> cuando está más lejos y más cerca respectivamente. El valor medio se conoce con el nombre de constante solar.

$$E = 1366 \text{ W/m}^2$$

El espectro de la onda que llega a la superficie es un conjunto de ondas con diferentes longitudes de onda. La parte de la radiación solar que penetra en la tierra, a pesar de viajar en línea recta, sufre el fenómeno de dispersión y difusión, y reflexión, dando lugar a lo que conocemos como componentes de la radiación solar. (Helioesfera, s.f. parr. 3)

### 3.18.1. Radiación directa

Es la que proviene directamente del sol, y causa la principal de las sombras que producen los objetos. (Helioesfera, s.f. parr. 4)

### 3.18.2. Radiación difusa

Es la que proviene de la atmósfera debido a la desviación que se produce en la onda debido a las partículas presentes en la atmósfera (fenómeno de dispersión). Esta componente toma valores de entre 15% de la radiación total en los días más soleados, y va aumentando a medida que el cielo está más nublado. (Helioesfera, s.f. parr. 5).

### 3.18.3. Albedo o radiación reflejada

Es la que proviene de la reflexión de la superficie terrestre. Depende del coeficiente de reflexión de la superficie (albedo). (Helioesfera, s.f. parr. 6).

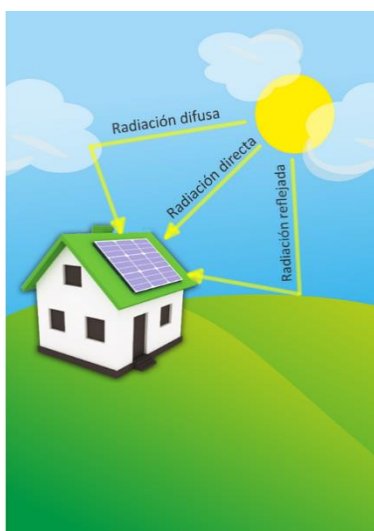


Imagen 11 Tipos de Radiación  
Fuente: Helioesfera, s.f.

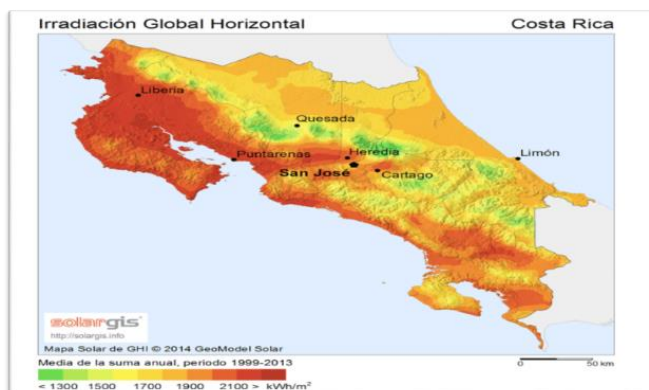


Imagen 12 Mapa de irradiación solar en costa rica  
Fuente: Solargis, s.f.

### 3.19 Paneles Solares

Un panel solar es un dispositivo que aprovecha la energía obtenida del sol para generar electricidad o calor. El panel solar es un aparato que puede ser utilizado en grandes complejos industriales, para la producción de la electricidad que necesita la maquinaria —por ejemplo—, así como para uso personal. En la actualidad, la producción de los paneles solares para casa ha mejorado considerablemente, encontrando modelos que proporcionan energía en todo tipo de unidad habitacional, incluso si estas están aisladas. (SolarPlak, s.f., parr. 3).

### 3.20 Panel solar fotovoltaico

Los paneles solares fotovoltaicos son aquellos que aprovechan la radiación solar para generar energía. Esta energía se obtiene a través de las células hechas con cristal de silicio semiconductoras que tienen los paneles solares fotovoltaicos. Así mismo, cada célula cuenta con dos capas semiconductoras positiva y negativa. Cuando estas entran en contacto con la radiación solar, y se calientan, tiene lugar un intercambio de electrones, generando un campo eléctrico efecto fotoeléctrico. Este es el que posteriormente se traduce en electricidad y que puede ser utilizado por cualquier unidad habitacional, fábrica, complejo industrial o vertido directamente a la red eléctrica. Los paneles solares, así mismo pueden ser de dos tipos dependiendo del tipo de instalación que se realice. (SolarPlak, s.f., parr. 6).

### 3.21 Autoconsumo Fotovoltaico

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA) de España, el autoconsumo fotovoltaico es el que “permite a cualquier persona o empresa producir electricidad renovable para su propio consumo instalando en su hogar, local o comunidad de vecinos paneles solares fotovoltaicos u otros sistemas de generación renovable”. (IDEA, s.f., parr. 1).

Parte del consumo fotovoltaico se abastece con la energía generada por la instalación de autoconsumo, lo que implica un ahorro directo en la factura eléctrica, lo que contribuye a reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera.

El autoconsumo puede realizarse en cualquier lugar, edificio, aparcamiento o construcción donde exista conexión a la red eléctrica. (IDEA, S.F., parr. 3).

Este autoconsumo puede realizarse con cualquier tecnología de generación renovable como, por ejemplo: solar fotovoltaica, mini eólica, mini hidráulica o biomasa eléctrica y las instalaciones pueden tener cualquier potencia, desde pequeños sistemas residenciales de pocos kilovatios (kW) a grandes sistemas industriales de varios megavatios (MW).

### 3.22 Sistemas aislados.

El sistema aislado se utiliza para producir electricidad que se consume en el instante o se almacena en una o varias baterías eléctricas para posterior uso.



Imagen 13 Sistema aislado  
Fuente: Sebastián Energía Solar, s.f.

### 3.23 Sistemas de conexión a red.

El sistema de conexión a red permite verter los excesos de electricidad, es decir, la que no se consume, a la red eléctrica. Esto permite obtener un suministro de electricidad con el mecanismo de compensación diferida o balance neto, un sistema de compensación de saldos, gestionado por las compañías eléctricas, que descuenta de la electricidad obtenida de la red los excesos de producción del sistema de autoconsumo. Esta práctica está sujeta a la legislación vigente en cada país.

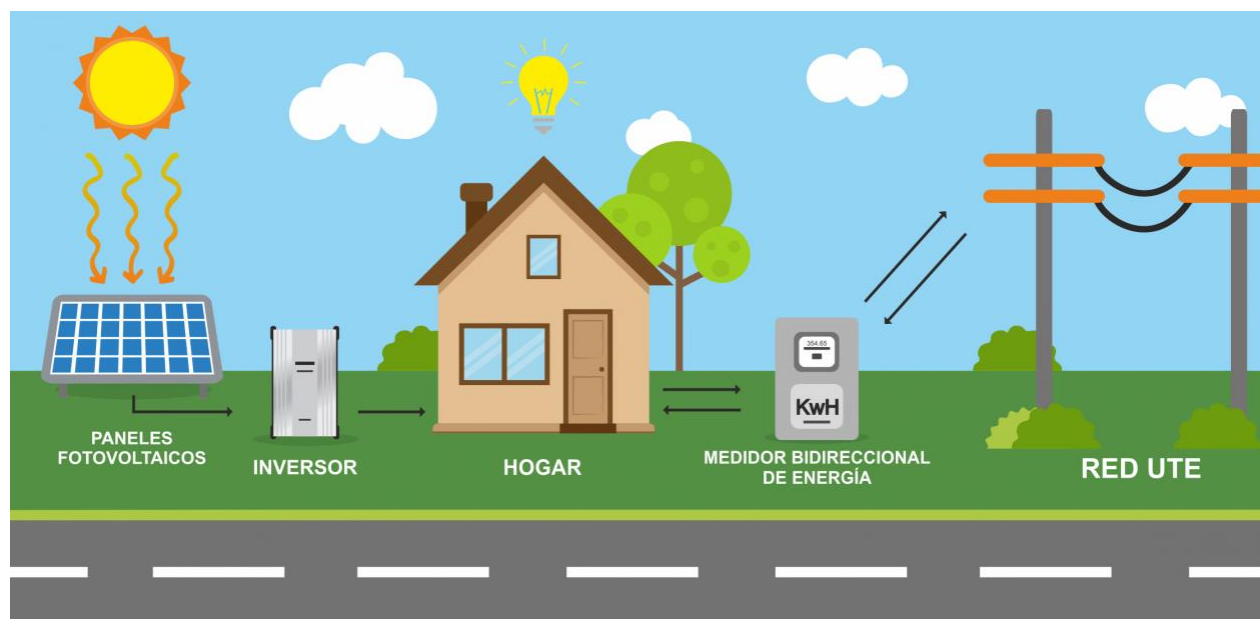


Imagen 14 Sistema conectado a la Red  
Fuente: MB Uruguay, s.f.

### 3.24 Tipos de paneles fotovoltaicos

En el mercado existen varios tipos de paneles solares fotovoltaicos para uso doméstico. Los tipos más comunes son los paneles fotovoltaicos mono cristalinos, los paneles solares policristalinos y las placas solares de capa fina. (Planas, 2017, párr. 2).

Alrededor del 90% de la tecnología fotovoltaica se basa en el uso de alguna variación del silicio. En el caso de los paneles solares destinados a uso doméstico este porcentaje es todavía mayor.

La principal diferencia entre los diferentes tipos de placas fotovoltaicas es la pureza del silicio utilizado. Cuanto más puro sea el silicio, mejor alineadas estarán sus moléculas, y mejor convierte la energía solar en electricidad.

De este modo se establece una relación directa entre la pureza del silicio y la eficiencia de los paneles solares. Por el contrario, el aumento de la pureza del silicio implica procesos más caros. El silicio cristalino es la base de las celdas monocristalinas y policristalinas.

### **3.25 Paneles solares monocristalinos de celdas de silicio**

En los paneles solares mono cristalino las celdas solares de silicio monocristalino (mono-Si) son bastante fáciles de reconocer por su coloración y aspecto uniforme, que indica una alta pureza en silicio. (Planas, 2017, parr. 3).

En este tipo de paneles fotovoltaicos las celdas monocristalinas se fabrican con bloques de silicio o ingots, que son de forma cilíndrica.

Posteriormente, con el objetivo de reducir los costos de fabricación de las celdas fotovoltaicas monocristalinas y de optimizar su rendimiento, se recortan los cuatro lados de los bloques cilíndricos para hacer láminas de silicio. Este recorte es el que les da este aspecto característico.

Una de las formas más sencillas para poder distinguir claramente un panel solar monocristalino de uno policristalino es que en el policristalino las celdas no tienen esquinas redondeadas y son perfectamente rectangulares.

### **3.26 Paneles fotovoltaicos policristalinos de silicio**

A diferencia de los paneles monocristalinos en su fabricación no se emplea el método Czochralski. El silicio en bruto se funde y se vierte en un molde cuadrado. A continuación, se enfría y se corta en láminas perfectamente cuadradas. Los primeros paneles solares policristalinos de silicio aparecieron en el mercado en 1981. (Planas, 2017, parr. 7).

### 3.27 Paneles solares fotovoltaicos de capa fina

El fundamento de estos paneles es depositar varias capas de material fotovoltaico en una base. Dependiendo de cuál sea el material empleado se pueden encontrar paneles de capa fina de silicio amorfo (a-Si), de telurio de cadmio (CdTe), de cobre, indio, galio y selenio (GIS/CIGS) o células fotovoltaicas orgánicas (OPC).

Dependiendo del tipo, un módulo de capa fina presenta una eficiencia de 7-13%. Debido a que tienen un gran potencial para uso doméstico son cada vez más demandados. (Planas, 2017, parr. 12).

### 3.28 Ubicación de los paneles solares

Todas las partes de la superficie de un edificio pueden ser útiles para colocar una instalación fotovoltaica: cubiertas inclinadas o planas, fachadas e incluso el propio suelo. Siempre hay que considerar que el techo sea estable para que soporte el sistema fotovoltaico durante más de 15 años. Además, hay que evitar la posibilidad de sombras causadas por árboles, otra vegetación cercana o por edificios cercanos.

Con respecto al corte transversal y longitudinal se pueden diferenciar los siguientes tipos de cubiertas para techos:

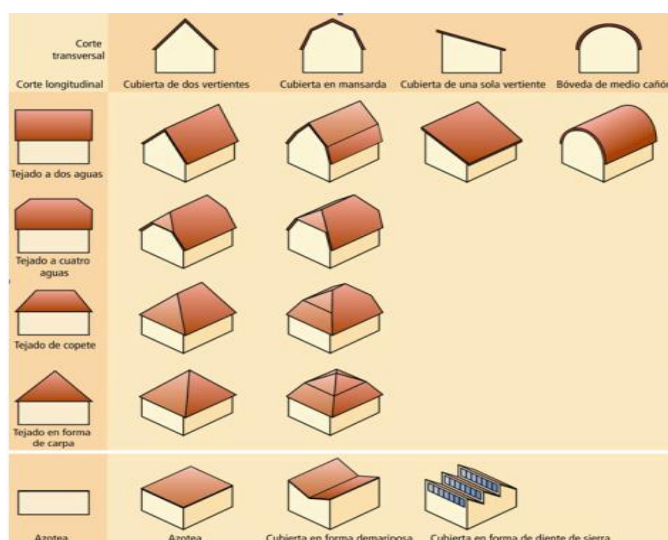


Imagen 15 Diferentes tipos de techos

Fuente: Abarzúa, 2013, p. 10.

### 3.29 La superficie disponible

La superficie disponible quedará determinada por el espacio de la cubierta en la que la propiedad determine ubicar los paneles. Habrá que procurar que esta superficie sea un espacio de fácil acceso para las operaciones de mantenimiento; a la vez que este espacio deberá estar protegido de actos vandálicos o de caída de objetos. En ningún caso, se puede infringir ninguna normativa urbanística del municipio y se requerirá el permiso de la comunidad de propietarios en caso de que la instalación de los paneles se haga en una comunidad constituida.

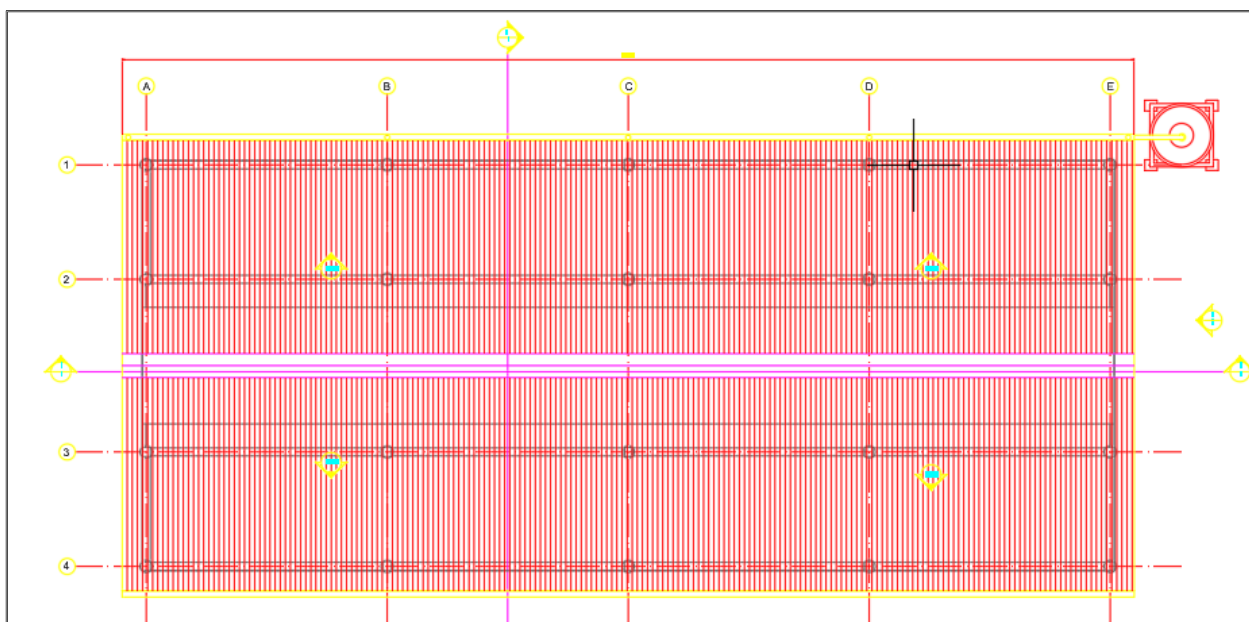


Imagen 16 Vista Planta de área disponible

Fuente: Elaboración propia, 2023

### 3.30 Orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos

La inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos es la que la superficie del panel solar se encuentra en posición perpendicular a la radiación solar.

Sin embargo, el ángulo de incidencia de la radiación solar varía durante el día y durante las diferentes épocas del año. Por esta razón, a menos que instalemos un seguidor solar, debemos buscar la inclinación de las placas ideal para maximizar la captación de energía solar globalmente durante todo el año.

La inclinación ideal de los paneles fotovoltaicos depende de la latitud en la que nos encontramos, de la época del año en que se quiere utilizar y de si dispone o no de un grupo electrógeno propio. (Planas, 2016, parr. 2).



Imagen 17 Ejemplos de inclinaciones  
Fuente: Planas, 2016

### 3.31 Incidencia de sombras

Para lograr el máximo aprovechamiento de un sistema de energía solar se deberá tener cuidado de la incidencia de posibles sombras sobre los paneles, tanto las cercanas (objetos que tapan momentáneamente la radiación directa del sol) como las sombras lejanas (elementos de la orografía o paisaje, o ambos, que ocultan el sol de la zona en donde se ubica la instalación solar).

El efecto de las sombras deberá evaluarse con mucho cuidado a la hora de determinar la ubicación de los paneles, porque las sombras en los paneles producen una merma importante de la producción, sobre todo si se producen en las horas centrales del día (máxima insolación).

#### 3.31.1. Separación entre hileras de paneles solares

La separación entre hileras de paneles fotovoltaicos debe garantizar la “no superposición” de sombras entre las hileras de paneles durante los meses del solsticio de invierno/verano.

Esta distancia quedará determinada por la siguiente expresión, en el caso de paneles en disposición horizontal (sobre un plano):

Ecuación.

$$d = \left( \frac{h}{\tan(H)} \right) \times \cos(A)$$

Donde:

- $D$ , es la distancia mínima entre líneas de paneles.
- $h$ , es la altura de la línea de paneles (en vertical, desde el punto superior en el suelo).
- $\tan H$ , es la tangente de la altura solar (ángulo) en el mes más desfavorable en esta latitud.
- $\cos A$ , es el coseno del azimut solar en el mes más desfavorable (diciembre) a las 10 h solar.

### 3.32 Tipos de conexión de paneles fotovoltaicos

#### 3.32.1. Conexión en serie

Conexión de paneles solares en serie o string se realiza conectando cada panel entre sí de manera directa formando una especie “cadena”, es decir, se conecta el polo positivo de un panel solar con el polo negativo del siguiente y así sucesivamente, acumulando el voltaje de todas ellas a la salida y creando un circuito en serie. (Sotysolar, s.f., parr. 3).

Los paneles están conectados unos a otros, por lo que el fallo en uno de ellos afecta al funcionamiento completo de la planta. Se suma el voltaje de todos y cada uno de los paneles solares. Los amperios de corriente eléctrica permanecen iguales y constantes. Ni aumentan, ni disminuyen.

Al conectar las placas solares fotovoltaicas en serie se crea una sola ruta para el flujo de corriente, habiendo un único cable que sale del tejado para cada cadena de paneles solares.

Por ejemplo, si se tienen 4 paneles solares de 260 W 7,9 A y 24 V cada uno, se tendrán 7,9 A y 96 V.

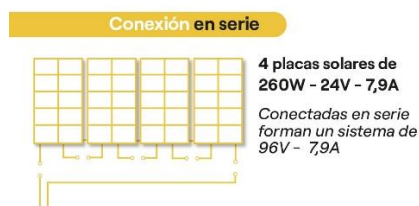


Imagen 18 Conexión en Serie de paneles solares  
Fuente: Sotysolar, s.f.

### 3.32.2. Conexión en paralelo

Cuando un instalador conecta los paneles solares en paralelo, conecta todos los polos positivos por un lado y por otro todos los polos negativos. Dicho de otra forma, los paneles no están conectados entre sí, sino que cada uno está conectado a un cable central, un circuito en paralelo. Se suma la intensidad (Amperios) de todos los paneles. El voltaje de las placas solares permanece igual y constante. Pueden conectarse paneles con la misma tensión y diferente potencia, ya que la conexión de placas solares en paralelo sí permite aumentar la corriente manteniendo la misma tensión. (Sotysolar, s.f., parr. 6).

En este tipo de instalación, los paneles son independientes, por lo que el comportamiento de uno no afecta al funcionamiento resto. Al conectar las placas solares fotovoltaicas en paralelo, hay varios cables que salen del sistema de paneles solares por lo que no hay un mismo camino para la corriente, sino varios.

Por ejemplo, si se tienen 2 paneles solares de 140 W 7,9 A y 12 V cada uno, se tendrán 15,8 A y 12 V.



Imagen 19 Conexión en paralelo de paneles solares  
Fuente: Sotysolar, s.f.

### 3.33 Procedimiento de cálculo de Sistema fotovoltaico

Cálculo de consumo energético

$$kWh = \frac{W \times Hd \times N}{1000}$$

Donde:

KWh: consumo en Kilowatts hora

Hd: horas de uso del equipo diariamente

N: número de equipos

### **3.34 Radiación global horizontal Kw/h/m<sup>2</sup> (H\_Gh)**

La irradiación global horizontal, que es la suma de las componentes directa y difusa, es el parámetro más importante para la evaluación del potencial de la energía solar en una región en particular. Esta magnitud de radiación instantánea está expresada en unidades de potencia por unidad de superficie (Energía / Área x Tiempo) y es medida en vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>). (Ideam, s.f., p. 13).

Las cantidades de radiación expresadas en términos de irradiación son generalmente integradas en el tiempo como (energía / área) y las unidades utilizadas son el kWh/m<sup>2</sup> por día (si es integrada en el día) o por año (si es integrada en el año).

No todos los puntos de la superficie terrestre reciben la misma cantidad de radiación solar. La posición relativa de la Tierra respecto al Sol y el movimiento de la misma alrededor del astro condicionan, por ejemplo, que en el ecuador se reciba más energía que en los polos y que en verano llegue más energía que en invierno.

La imagen 19 muestra la irradiación global horizontal media recibida en superficie, expresada en kWh/m<sup>2</sup> por año, la cual oscila desde un máximo de entre 2500 y 2600 kWh/m<sup>2</sup> (entre 6.8 y 7.2 kWh/m<sup>2</sup> por día) en las regiones despejadas de nubosidad del Sahara, Arabia y el desierto de Atacama, hasta un mínimo de 480 kWh/m<sup>2</sup> (1.3 kWh/m por día) en las islas brumosas del Ártico. La media global está alrededor de los 4.0 kWh/m<sup>2</sup> por día.

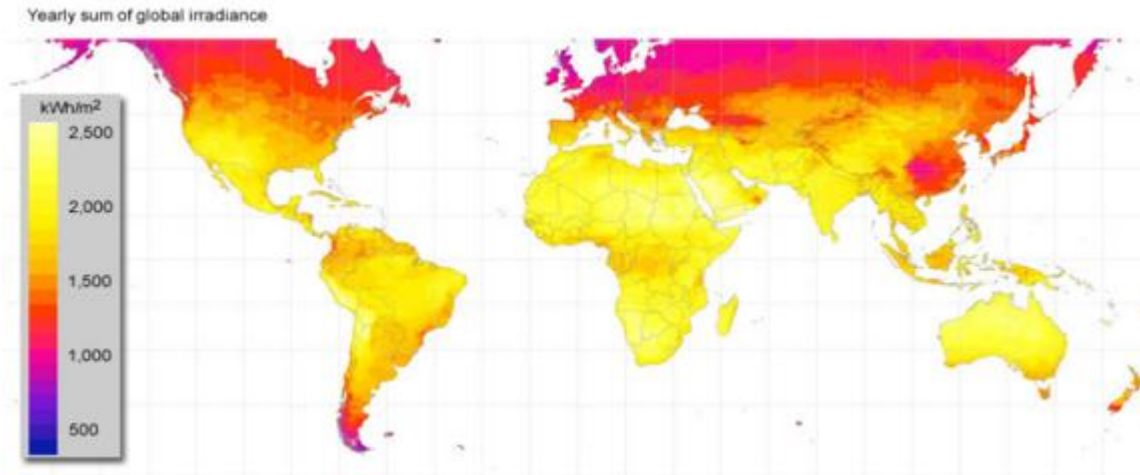


Imagen 20 Irradiación global media anual

Fuente: Ideam, s.f., p. 1

### 3.35 Numero de paneles solares

Para el cálculo del número o cantidad de paneles solares de acuerdo con el consumo calculado podemos utilizar una de las siguientes ecuaciones:

$$NP = \frac{E}{Pr \times Wp \times H\_Gh}$$

Donde,

NP: Numero de paneles solares

E: Consumo de energía real kW/h mensual

Wp: Potencia pico del panel solar en W

H\_Gh: Irradiación Global Horizontal en kW/h m<sup>2</sup>.

Pr: Performance Ratio (eficiencia). Adimensional.

### 3.36 Inclinación de paneles solares

Las placas solares deben tener una inclinación con un grado de ángulo óptimo para captar los rayos del sol de manera perpendicular, una inclinación equivocada podría causar una pérdida significativa en la eficiencia de todo el sistema solar. (Vindas, 2018, p. 60).

Sin embargo, encontrar el ángulo correcto de los paneles no es fácil, ya que la luz solar no es constante en nuestro planeta. Varía en función de la latitud del lugar y de la época del año de

observación, en el hemisferio norte del planeta el sol está bajo en el horizonte a medida que se avanza hacia el norte.

Además, en los meses de invierno el sol es particularmente menor que en los meses de verano. Lo contrario sucede en el hemisferio sur.

Para determinar el ángulo de inclinación adecuado de los paneles solares, que maximice la radiación sobre ellos, se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_m = \phi + 10^\circ$$

Donde:

$I_m$ : Es la inclinación máxima en grados

$\Phi$ : Es la latitud del lugar de la instalación.

### **3.37 Cálculo de inversor**

Para dimensionar el inversor adecuado se hace necesario calcular la tensión y corriente generada en el punto de máxima potencia de funcionamiento de los paneles solares, y usarlo como dato mínimo para la selección. (Vindas, 2018, p. 69).

### **3.38 Generación distribuida y Sistemas conectados a la red**

Como legislación costarricense sobre la generación distribuida para autoconsumo y sobre el acceso al sistema eléctrico nacional (de ahora en adelante SEN) se tiene la norma técnica planeación, operación y acceso al Sistema Eléctrico Nacional AR-NT-POASEN (2015). Su última modificación fue publicada en marzo del 2016. También existen la norma Supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión AR-NT- SUCOM (con su última modificación publicada en marzo de 2016), y el Reglamento del MINAE sobre generación distribuida para autoconsumo de fuentes renovables modelo de contratación-medición neta sencilla.

Ambas normas y el reglamento cuentan con capítulos que se refieren a la generación en pequeña escala para autoconsumo.

### **3.39 Artículos de la norma técnica AR-NT-POASEN-2015**

#### **3.39.1. Artículo 3. Definiciones**

Abonado productor o productor consumidor: Toda persona física o jurídica que ha suscrito un contrato para el aprovechamiento de la energía eléctrica y que, además, produce electricidad de fuentes renovables para ser aprovechada exclusivamente por él, en el mismo sitio en donde se genera, con el único propósito de suplir parcial o totalmente sus necesidades de energía eléctrica. (ARESEP, 2015, p. 2).

#### **3.39.2. Artículo 124. Modalidades de generación distribuida para autoconsumo con fuente renovables interconectadas a la red.**

La actividad de generación distribuida para autoconsumo de fuentes renovables interconectadas a la red se desarrollará y operará bajo las siguientes modalidades:

Neta sencilla: alternativa para que los abonados generen electricidad de fuentes renovables con el propósito de satisfacer sus necesidades, funcionando en paralelo con la red de distribución eléctrica, bajo el concepto de depósito y devolución de energía.

Neta completa (venta de excedentes): alternativa para que los abonados generen electricidad mediante fuentes renovables con el propósito de satisfacer sus necesidades, funcionando en paralelo con la red de distribución eléctrica bajo el concepto de venta de excedentes de energía. (ARESEP, 2015, p. 55).

#### **3.39.3. Artículo 124. Generación distribuida para el autoconsumo en su modalidad de medición neta sencilla**

La actividad de generación distribuida para el autoconsumo de fuentes renovables utilizando el modelo contractual de medición neta sencilla no es servicio público, consecuentemente, no estará sujeta a la regulación de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. Dicha actividad se regirá por lo que establezca para tales efectos el Ministerio de Ambiente y Energía como ente rector en la materia. No obstante, lo anterior, en lo que se regirá a su interacción con la red de distribución

estará sujeto a la regulación dictada por la Autoridad Reguladora en esta materia. (ARESEP, 2015, p. 55).

#### **3.39.4. Artículo 127. Relación empresa distribuidora con productores y consumidores.**

Las relaciones entre las empresas distribuidoras y los productores consumidores con un sistema de generación distribuida para autoconsumo de fuentes renovables, interconectado a la red de distribución, utilizando el modelo contractual de medición neta sencilla, se registrarán por el contrato de interconexión establecido por el MINAE, respetando para ello la regulación establecida por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos en lo relativo a sus competencias. (ARESEP, 2015, p. 56).

#### **3.39.5. Artículo 128. Cumplimiento de la normativa técnica en materia de distribución.**

Corresponde a las empresas distribuidoras y al productor-consumidor con un sistema de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables, interconectado a la red de distribución, utilizando el modelo contractual de medición neta sencilla, cumplir con los criterios de calidad de conformidad con las normas y reglamentos técnicos establecidos por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos en lo que corresponda. (ARESEP, 2015, p. 56)

### **3.40 Artículos de la Norma técnica AR-NT-SUCOM**

En cuanto a esta norma, se agregó el capítulo XII –Interconexión, acceso y suministro eléctrico para abonados-usuarios-productores, en que los artículos relevantes para la generación distribuida son:

#### **3.40.1. Artículo 126. Libre interconexión y operación de generadores a la red de distribución.**

Las empresas distribuidoras permitirán a sus abonados o usuarios (con la autorización del abonado y sus disposición de firmar el contrato respectivo), actuales o futuros, interconectar y operar sistemas de generación para autoconsumo a partir de fuentes de energía renovables, siempre y cuando la red de distribución cuente con las condiciones técnicas para tal efecto, y siempre que el interesado cumpla con las condiciones técnicas comerciales y con los requisitos establecidos en

esta norma y con la que con fundamentado en ella establezcan las empresas distribuidoras (ARESEP, 2014, p. 46).

#### **3.40.2. Artículo 127. Requisito para la interconexión de generadores a la red de distribución.**

Cualquier abonado o usuario actual o futuro puede constituirse como abonado o usuario productor mediante la firma de un “*contrato de interconexión para abonados productores*”. (ARESEP, 2014, p. 47).

#### **3.40.3. Artículo 128. Capacidad de acceso.**

Las empresas eléctricas efectuarán los estudios técnicos necesarios para cuantificar la capacidad de sus redes de distribución para la operación paralelo de abonados productores, según lo establecido en el Reglamento de Generación Distribuida para Autoconsumo de Fuentes Renovables Modelos de Contratación Mediana Neta Sencilla, si garantizan que la operación de sus generadores para autoconsumo no interfieren con la calidad, la cantidad, la confiabilidad, la continuidad, la oportunidad y la prestación óptima del servicio eléctrico, de conformidad con las normas técnicas regulatorias emitidas por la Autoridad Reguladora. (ARESEP, 2014, p. 47).

#### **3.40.4. Artículo 129. Limitaciones de acceso**

En toda solicitud de conexión de un generador a la red de distribución la empresa distribuidora deberá efectuar el estudio de viabilidad técnica correspondiente, y velar porque el suministro eléctrico al interesado y a los demás abonados o usuarios se mantenga acorde con los criterios normativos emitidos por la Autoridad Reguladora en lo que respecta a calidad, cantidad, confiabilidad, continuidad, oportunidad y prestación óptima. (ARESEP, 2014, p. 47).

#### **3.40.5. Artículo 131. Punto de interconexión**

Para efectos comerciales, técnicos y de límites de responsabilidad, el punto de interconexión del abonado productor con la red de distribución lo será el punto de entrega, de conformidad con lo que establece el artículo 15 de esta norma técnica regulatoria. La habilitación de todo servicio para un abonado productor requiere la verificación establecida de la norma técnica regulatoria AR-NT-

SUINAC-Supervisión de la instalación y equipamiento de acometidas eléctricas vigente. (ARESEP, 2014, p. 47).

#### **3.40.6. Artículo 132. Contrato de interconexión.**

Es responsabilidad de la empresa distribuidora asegurar que el contrato de interconexión y operación de un generador para autoconsumo, por parte de un abonado o usuario productor, contenga las cláusulas contractuales necesarias para que:

a. La infraestructura de la interconexión se construya y mantenga conforme a la norma ART-SINAC- “Supervisión de la instalación y equipamiento de acometidas eléctricas” vigente.

b. La operación del generador de autoconsumo no interfiera con la calidad, cantidad, confiabilidad, continuidad, oportunidad y prestación óptima de otros abonados o usuarios, establecida en las normas técnicas regulatorias emitidas por la ARESEP.

c. El abonado o usuario productor se haga responsable de los daños que cause a la empresa eléctrica y a otros abonados o usuarios. No obstante, la empresa eléctrica deberá resarcir los daños que la operación del generador del abonado o auto productor cause a otros usuarios, y deberá –en sede judicial- cobrar dichos costos al abonado productor. (ARESEP, 2014, p. 47).

#### **3.40.7. Artículo 133. Cargo por acceso e interconexión a la red de distribución**

El abonado-productor deberá cancelar mensualmente a la empresa eléctrica el costo de acceso e interconexión a la red de distribución, según lo establezca la Autoridad Reguladora. (ARESEP, 2014, p. 48).

#### **3.40.8. Artículo 136. Sistema de medición**

El costo del sistema de medición para el registro de la energía depositada y retirada en los servicios con generación para auto consumo en su modalidad de medición neta sencilla no podrá ser cargado a las tarifas del servicio de suministro de energía eléctrica en su etapa de distribución, y dicho sistema de medición deberá ser administrado operado y mantenido por la empresa eléctrica. Este sistema de medición deberá cumplir con lo establecido en el capítulo IV –Inscripción del

Modelo de la Norma AR-NT-SUMEL, “Supervisión del uso, funcionamiento y control de medidores de energía eléctrica”. (ARESEP, 2014, p. 48).

#### **3.40.9. Artículo 137. Facturación de la modalidad contractual, “Medición Neta Sencilla”**

En el caso de existir un excedente de la producción con respecto al consumo mensual, este debe reflejarse en la facturación del respectivo mes junto con el acumulado correspondiente. Esto a efectos de compensar en las facturas subsiguientes y facturar el costo del acceso indicado en el artículo 133 de esta norma. El cierre para la liquidación de excedentes se hará en la facturación correspondiente al doceavo mes del periodo de doce meses consecutivos convenidos entre las partes. (ARESEP, 2014, p. 48).

### **3.41 Artículos del reglamento de generación distribuida para autoconsumo de fuentes renovables en su modalidad neta sencilla.**

#### **3.41.1. Artículo 34. Autorización para el almacenamiento y retiro de energía**

El productor consumidor podrá almacenar en la red de distribución la energía no consumida, y tendrá derecho a retirar hasta un máximo de 49% de la energía total generada, para utilizar en el mes o meses siguientes en un periodo anual. (MINAE, 2014).

#### **3.41.2. Artículo 41. Pagos de excedentes de energía.**

Cualquier exceso de energía superior a 49% de la energía total generada que haya sido depositada en la red de distribución no estar sujeta a ningún tipo de retribución económica ni el intercambio de energía. (MINAE, 2014).

### **3.42 Normativa de construcción de líneas de media tensión ICE**

Para la construcción de líneas de media tensión en Costa Rica y en este caso bajo la jurisdicción del Instituto Costarricense de Electricidad debemos tomar en cuenta.

### **3.43 Fundamentos de matemáticas financieras**

Las matemáticas financieras son de utilidad, debido a que se basan en el dinero y su valor en el futuro.

Solo porque transcurre el tiempo, debe ser remunerado con una rentabilidad que el inversionista le exigirá por no usarlo hoy y aplazar su consumo a un futuro conocido, lo cual se conoce como valor tiempo del dinero. En la evaluación de un proyecto las matemáticas financieras consideran la inversión como el menor consumo presente y la cuantía de los flujos de caja en el tiempo como la recuperación que debe incluir dicha recompensa. La consideración de los flujos en el tiempo requiere la determinación de una tasa de interés adecuada que represente la equivalencia de dos sumas de dinero en dos periodos diferentes. (Sapag y Sapag, 2008, p. 314).

### **3.44 Flujo de caja descontado.**

El flujo de caja descontado es una técnica de evaluación de inversiones, cuyo objetivo es determinar si la inversión rinde mayores beneficios que los usos alternativos de la suma requerida para el proyecto. Los principales métodos del flujo de caja descontado son el valor neto actual (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). (Díaz y Aguilera, 2013, p. 132).

### **3.45 Valor neto actual.**

El Valor neto actual (VAN) es definido por los autores Díaz y Aguilera (2013) como:

El valor actual neto de un proyecto de inversión es el valor actual de todos los flujos de efectivo relacionados con el proyecto. En otras palabras, es el valor presente de todos sus costos (egresos) y sus ingresos, desde su principio y hasta su terminación (p. 139).

Para decidir si el proyecto es atractivo en términos financieros se utiliza el criterio de la VAN, de acuerdo con Sapag y Sapag (2008), el resultado define si el proyecto es rentable.

Al aplicar este criterio, el VAN puede tener un resultado igual a cero, indicando que el proyecto renta justo lo que el inversionista exige a la inversión; si el resultado fuese, por ejemplo, 100 positivos, indicaría que el proyecto proporciona esa cantidad de remanente sobre lo exigido. Si el resultado fuese 100 negativos, debe interpretarse como la cantidad que falta para que el proyecto rente lo exigido por el inversionista (pp. 322-323).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Imagen 21 Ecuación para cálculo de VAN  
Fuente Sapag y Sapag (2008)

Donde:

BTn = Representa el beneficio neto del flujo en el periodo.

Io = Es la inversión realizada en el momento inicial.

N = Números de periodos.

I = Es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

Esta operación arrojará tres posibles resultados que nos servirán para determinar la viabilidad del proyecto en cuestión:

**VAN = 0.** Sí el resultado es igual a cero (0), se determina que el proyecto no dará ganancias ni pérdidas, o sea, es indiferente.

**VAN > 0.** Cuando el valor obtenido es mayor a cero (0) se asume que el proyecto será rentable.

**VAN < 0.** Si el valor obtenido es menor a cero (0) se considera el proyecto no viable.

### 3.45.1. Beneficios del VAN

El VAN es una herramienta que resulta sumamente beneficiosa a la hora de evaluar posibles proyectos de inversión. Es fácil de calcular y permite actualizar todos los datos de ingresos y egresos futuros al presente, con la ventaja de tomar en cuenta el vencimiento de los diferentes flujos de caja. Esto facilita en gran medida su comparación independientemente del tiempo. El VAN posibilita realizar útiles predicciones sobre el comportamiento de los proyectos de inversión y su rentabilidad para la empresa.

Para muchas personas tal vez la mayor ventaja que brinda es el hecho de que permite calcular e introducir nuevas variables (riesgo de negocio, fiscalidad, alzas y bajas de la bolsa o inflación) que

pueden afectar directamente el resultado de la inversión. Además de ayudar a conocer la rentabilidad del negocio, nos brinda la posibilidad de realizar comparaciones entre los diferentes métodos a utilizar y los diferentes posibles proyectos de inversión, de esta manera, poder establecer cuál es la mejor opción.

### **3.46 Tasa interna de retorno (TIR).**

La tasa interna de retorno (TIR), según Díaz y Aguilera (2013), corresponde a la medida de los rendimientos futuros esperados de una inversión.

La TIR es la tasa a la cual el valor actual de los ingresos del proyecto es igual al valor actual de los egresos. El criterio para tomar decisiones con base en este método es emprender el proyecto cuando la TIR sea superior al costo de capital, que es, expresado en forma sencilla, un promedio ponderado de los costos de todos los fondos con los que opera una organización, principalmente cápita y deuda (p. 140).

El criterio de la tasa interna de retorno (TIR) evalúa el proyecto en función de una tasa de rendimiento única por periodo. De acuerdo con Sapag y Sapag (2008), el criterio de la tasa interna de retorno.

Representa la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero, si todos los fondos para el financiamiento de la inversión se tomaran prestados y el préstamo (principal e interés acumulado) se pagará con las entradas en efectivo de la inversión a medida que se fuesen produciendo. Aunque esta es una apreciación muy particular de estos autores (no incluye los conceptos de costo de oportunidad, riesgo ni evaluación de contexto de la empresa en conjunto), sirve para aclarar la intención del criterio (p. 232).

De acuerdo con Sapag y Sapag (2008) para calcular la tasa interna de retorno se utiliza la siguiente ecuación:

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0$$

Imagen 22 Ecuación para cálculo de TIR  
Fuente Sapag y Sapag (2008)

Donde

BT<sub>n</sub> = Representa el beneficio neto del flujo en el periodo.

I<sub>0</sub> = Es la inversión realizada en el momento inicial. n = Números de periodos. r = Es la tasa de retorno.

Los criterios de evaluación del proyecto son:

TIR > 0 El proyecto es aceptable, ya que su rentabilidad es mayor que la rentabilidad mínima requerida o coste de oportunidad.

TIR = 0 En este caso sería indiferente realizar el proyecto, ya que ni ganamos ni perdemos. En situaciones con valores iguales a cero o cercanos, hay que valorar si se pueden obtener otro tipo de beneficios asociados a la realización del proyecto.

TIR < 0 El proyecto se rechaza. La razón es que el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida. En este caso, no tendría sentido realizar la inversión.

### 3.47 Periodo de recuperación

El periodo de recuperación (PR) se conoce también como periodo de recuperación simple, indica el número de periodos que tarda un proyecto para recuperar su inversión inicial. Díaz y Aguilera (2013) afirman: “La diferencia entre este momento y el momento en el que se inicia el proyecto es lo que se conoce como periodo de recuperación de la inversión” (p. 142).

Este método puede informar adicional para evaluar proyectos. De acuerdo con Sapag y Sapag (2008), el PR es un método difundido para la evaluación de proyectos.

Uno de los criterios tradicionales de evaluación bastante difundido es el del periodo de recuperación (PR) de la inversión, mediante el cual se determina el número de periodos necesarios para recuperar la inversión inicial, resultado que se compara con el número de periodos aceptable por la empresa. Si los flujos fuesen idénticos y constantes en cada periodo, el cálculo se simplifica a la siguiente expresión:

$$PR = \frac{I_0}{BN}$$

Donde PR, periodo de recuperación, expresa el número de periodos necesarios para recuperar la inversión inicial  $I_0$  cuando los beneficios netos generados por el proyecto en cada periodo son BN (p. 329).

### **3.48 Sistema de confinamiento bovino**

Como parte del esfuerzo por hacer un mejor uso del recurso tierra y de lograr un mejor precio de venta de los terneros producidos, se han venido desarrollando en Costa Rica algunos sistemas de engorde en confinamiento. Existen modelos de pequeños productores (10-30 toros) y algunos pocos que tienen más de 1000 toros confinados. (Pérez, 2017, p. 10).

El denominador común para su factibilidad es la disponibilidad de alimentos a precios razonables. Actualmente funcionan algunos basados en el uso de subproductos/residuos de la producción/procesamiento de piña, cítricos, banano y caña de azúcar. Todavía es un sistema muy poco común en el país. (Pérez, 2017, p. 10).

El engorde de ganado bovino consiste en producir la mayor cantidad de kilogramo de carne por unidad de superficie, en el menor tiempo posible. Ello implica que individualmente cada torete gane peso aceleradamente, pero además debemos maximizar el uso del recurso tierra (aumentar la carga animal). Fuente: (Pérez, 2017, p. 11).



Imagen 23 Confinamiento  
Fuente: Elaboración propia, 2023

### 3.49 Picapasto

Las máquinas picapastos son herramientas ideales para llevar a cabo actividades agropecuarias, a estos también son conocidas como las picadoras. Estas herramientas sirven para picar y cortar el pasto y también otras plantas como caña de azúcar, maíz, entre otros. Estas herramientas ofrecen grandes beneficios como la seguridad de los operarios y fácil realización de las labores mantenimiento. (Equipmaster.co, s.f.)

Debido a su versatilidad, es utilizada en diferentes actividades agrícolas ya que no solo se puede picar el pasto sino también alimentos para animales. Dentro de los principales alimentos que resaltar se encuentran zanahoria, papa, plátano, yuca para atajar, naranjas, caña de azúcar, entre otros. Fuente: (Equipmaster.co, s.f.)



Imagen 24 Picapastos  
Fuente: Agranza, s.f.

### 3.50 Mixer vertical

Desde el punto de vista nutricional, las dietas deben estar balanceadas tanto en el nivel proteico como energético, lo cual obliga a que los ingredientes a suministrar estén adecuadamente mezclados. Aquí es el punto donde el mixer juega su rol fundamental en el proceso productivo. (La red del campo Chacra, s.f.).



Imagen 25 Mixer  
Fuente: Tioliet, s.f.

### 3.51 Bomba de purines

Los purines tienen una altísima carga orgánica, presencia de nitratos y de cobre por lo que requiere una gestión específica con vistas a no contaminar los suelos y las aguas superficiales y subterráneas. Tiene un contenido de sólidos orgánicos del 3 al 10%. (Infojardín, s.f., parr. 4).

Esta forma de estiércol se produce principalmente en criaderos intensivos de ganado. Al mezclar o almacenar purines se liberan gases peligrosos, entre otros, amoníaco y ácido sulfhídrico.

La bomba de purines es el elemento electromecánico que se utiliza para extraer y distribuir los purines en los campos, los purines son acumulados en un tanque o reservorio, desde este tanque

con la ayuda de esta bomba eléctrica son impulsados y distribuidos a través de tuberías para ser usado como fertilizante para pastos y cultivos.



Imagen 26 Bomba de Purines  
Fuente: Aitec, s.f.

### 3.52 Inversores

Los paneles solares, por lo general, suministran energía en forma de corriente directa, pero en la actualidad, los dispositivos modernos están diseñados para trabajar con corriente alterna, dado lo anterior, cualquier sistema fotovoltaico necesita un elemento que realice el cambio de corriente directa a corriente alterna. Este elemento es el inversor. (Vesco, 2019, p. 21).

Los inversores, están conformados por elementos integrados que, como medidas de seguridad, tales como desconectores y protección contra corriente de polaridad inversa. Esto, para prevenir daños, ya que están diseñados para desconectarse automáticamente en cuando se detecta una falla de la puesta a tierra o, en caso de los inversores interconectados a la red de distribución, cuando esta deja de suministrar energía. (Vesco, 2019, p. 22).

Los inversores solares pueden dividirse en dos grandes categorías, basadas en cuántos paneles se conectan a ellos: inversores centrales y de cadena, a los que se conectan múltiples paneles y los micro inversores, a los que por lo general se conecta un solo panel, aunque también existen ciertos modelos diseñados para conectar dos o tres.

## CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se expone la metodología a utilizar en la investigación y se explicará los medios que se usarán para recolectar la información que permitirá alcanzar los objetivos del estudio; éstos son útiles para la comprensión del escrito.

### 4.1 Enfoque de la investigación

En cuanto al enfoque de la investigación, se tiene que Hernández, Fernández y Baptista (2018), establecen “...que los enfoques cuantitativo, cualitativo y mixto constituyen rutas para resolver problemas de investigación. Todos resultan valiosos y son, hasta ahora, los mejores métodos para investigar y generar conocimientos.” (p. 2). En esa línea, el proceso de investigación es fundamental, ya que guía el entendimiento de un tema específico y favorece una estructura ordenada que ayuda a la consecución de los objetivos planteados. Por consiguiente, se determinó que una respuesta al problema planteado en el presente proyecto, por lo cual establecer el enfoque correcto, marcará el camino a seguir para su desarrollo y alcanzar las conclusiones y recomendaciones que se estimen pertinentes.

Expuesto lo anterior, se tiene que la investigación que se desarrolla se basará en el enfoque cuantitativo; toda vez que, de acuerdo con Hernández y Mendoza (2018), tal enfoque “...representa un conjunto de procesos organizados de manera secuencial para comprobar ciertas suposiciones. Cada fase precede a la siguiente y no podemos eludir pasos, el orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna etapa.” (pp. 4-5). Adicionalmente, Hernández y Mendoza (2018), mencionan las siguientes características para ese enfoque:

1. Búsqueda de la mayor objetividad posible en todo el proceso o ruta.
2. En la ruta cuantitativa se sigue un patrón predecible y estructurado y se debe tener presente que las decisiones críticas sobre los métodos se toman antes de recolectar los datos, guiadas por el diseño.
3. En la mayoría de los estudios cuantitativos se pretende generalizar los resultados y descubrimientos encontrados en los casos (muestra), a un universo mayor (población). Asimismo, en ocasiones es deseable que las investigaciones efectuadas puedan replicarse.

4. Al final, con los estudios cuantitativos se pretende describir, explicar y predecir los fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones causales entre elementos.

5. En la ruta cuantitativa, si se sigue rigurosamente el proceso y, de acuerdo con ciertas reglas lógicas, los datos generados poseen los estándares de validez y confiabilidad deseados, y las conclusiones derivadas contribuirán a la generación de conocimiento.

6. Esta ruta se vale de la lógica o razonamiento deductivo, que parte de la teoría, de la cual se derivan las hipótesis que el investigador somete a prueba. De lo general a lo particular. (p. 7).

El presente trabajo se considera una investigación cuantitativa, por cuanto el enfoque está basado en medición de magnitudes eléctricas y económicas, cálculos matemáticos y presentación de datos precisos.

En el estudio se evalúa el costo y diseño para implementación de un sistema de alimentación eléctrica para consumo en el galpón de estabulado de ganado bovino. Además, se someterá a evaluación la viabilidad de la instalación y puesta en servicio de un sistema de energía alternativa renovable con el aprovechamiento de la radiación solar.

## **4.2 Tipo de investigación**

Dentro de los apartados metodológicos, se considera que el tipo de investigación debe tener relación con el alcance y puede ser de tipo exploratorio, correlacional, descriptivo o explicativo. A continuación, se procede a brindar una breve explicación de cada uno, a fin de determinar en cuál de ellos se ubica el presente proyecto.

### **4.2.1. Exploratorio**

De acuerdo con Hernández et al (2018), se tiene lo siguiente:

Los estudios exploratorios se llevan a cabo cuando el propósito es examinar un fenómeno o problema de investigación nuevo o poco estudiado, sobre el cual se tienen muchas dudas o no se ha abordado antes. Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que tan solo

hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio, o bien, si deseamos indagar sobre temas y áreas desde nuevas perspectivas. (p. 106).

#### **4.2.2. Descriptivo**

Hernández et al (2018) mencionan que las investigaciones descriptivas son aquellas que

Pretenden especificar las propiedades, características y perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, miden o recolectan datos y reportan información sobre diversos conceptos, variables, aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o problema a investigar. (p. 108).

#### **4.2.3. Correlacionales**

Por otra parte, Hernández et al (2018) indican que las correlacionales

(...) miden el grado de reacción entre dos o más variables las cuales pueden establecerse entre los mismos sujetos, o sea, la relación debe establecerse en grupos de sujetos a los que se mide en diferentes oportunidades o en diferentes atributos. Su propósito es saber cómo se puede conllevar una variable, sabiendo el comportamiento de otra u otras variables relacionadas. Se distinguen de los descriptivos en que estos últimos miden con precisión variables individuales y los correlacionales evalúan el grado de relación entre dos o más de estas; además, tienen un valor explicativo, aunque sea parcial. (p. 149).

De acuerdo con las distintas formas para clasificar la investigación, se tiene que el presente estudio calza con el tipo exploratorio, porque examina un diseño aspectos y variables para diseñar un sistema nuevo y único, apegado a códigos y normas nacionales, para así determinar la mejor propuesta para implementar un sistema eléctrico en baja y media tensión.

### **4.3 Diseño de la investigación**

De acuerdo con esto, se define que la investigación es no experimental, pues conlleva analizar diferentes aspectos técnicos y de normativa para implementar la mejor propuesta de solución.

## **4.4 Fuentes de información**

En una investigación, es muy importante que exista coherencia entre el análisis, las conclusiones y las recomendaciones; que estas sean fundamentadas a partir de una base cierta, que brinden información confiable, clara y que sea fácil de comprobar su veracidad. La materia prima de los trabajos de investigación proviene de las diferentes fuentes de información, según sea su tipo.

Hernández et al (2018), respecto de las fuentes de las que se obtendrán los datos, mencionan que pueden provenir de personas, a partir de observaciones y registros o contenidas en documentos, archivos y bases de datos, entre otras. (p. 226).

### **4.4.1. Fuentes Primarias**

Hernández et al (2018), sobre las fuentes primarias, indican:

En todas las áreas de conocimiento, las fuentes primarias más utilizadas para elaborar marcos teóricos son libros, artículos de revistas científicas y ponencias o trabajos presentados en congresos, simposios y eventos similares, entre otras razones porque son las que sistematizan en mayor medida la información, profundizan más en el tema que desarrollan, son examinadas y arbitradas por investigadores o profesionales experimentados (pares o colegas) y resultan altamente especializadas. (p. 76)

Para el presente estudio, las fuentes primarias provienen de la teoría recolectada en la investigación y en las diferentes normas y reglamentos referentes a sistemas eléctricos establecidos en Costa Rica.

### **4.4.2. Fuentes Secundarias**

Según Morales (2020), citando a Blázquez (2015), indica que:

(...) las fuentes de información secundarias, las describe como “Todas aquellas que contienen las referencias y envíos a las fuentes primarias originales. Son instrumentos de acceso a la información, resultantes de los procesos documentales de análisis, clasificación, etc. (p. 58).

En cuanto a las fuentes secundarias, para el presente estudio se tratan de aquellas provenientes de proveedores de la zona en estudio.

#### **4.5 Muestra de la investigación**

En este apartado, se abarcan aquellos miembros del sistema que se encuentran ligados directamente con el tema en investigación, con la finalidad de dar respuesta acertada a la problemática expuesta en los capítulos anteriores, así como la consecución de los objetivos planteados. En vista de que el estudio se desarrolla en un ambiente técnico, normativo y de diseño, las muestras tomadas en cuenta serán los reglamentos y normas nacionales para seguir para la propuesta del sistema en estudio.

#### **4.6 Población**

Según Hernández et al (2018), una población “...es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (p. 198). En este caso particular, la investigación se realiza no cuenta con población, dado que se busca encontrar el diseño óptimo para implementar un sistema de baja y media tensión para una explotación ganadera y de unidad habitacional.

#### **4.7 Variables**

En este apartado se hace referencia a las variables que serán analizadas para dar contenido al estudio y que permitirán obtener conclusiones válidas. Al respecto, Hernández et al (2018) manifiestan que “...los planteamientos en la ruta cuantitativa generalmente se orientan a explorar y describir conceptos medibles para determinar su magnitud y que denominamos variables o bien a relacionarlos para compararlos, y por ello, deben incluirse.” (pp. 51-52). Asimismo, en el documento de cita previa, exponen que “Una variable es una propiedad o concepto que puede variar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse (es capaz de adquirir diferentes valores y

que pueden ser registrados por un instrumento de medición).” (pp. 51-52). Tales instrumentos serán mencionados más adelante en este apartado.

Cuadro 1 Cuadro de variables

<b>Objetivo</b>	<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Definición instrumental</b>
Realizar una investigación y evaluación de las condiciones del suministro eléctrico actual en la propiedad en estudio.	VARIABLES eléctricas del suministro eléctrico existente.	Valores de las variables eléctricas	Voltaje. Caída de tensión.	Mediciones de los valores actuales en el servicio eléctrico de la propiedad en estudio	Multímetro fluke. Hoja de Excel.
Investigar la normativa aplicable a los sistemas de baja tensión y a los sistemas de generación fotovoltaica en el país.	Normativa aplicable a los sistemas de baja tensión en Costa Rica. Normativa aplicable a los sistemas de generación fotovoltaica en Costa Rica.	NEC 2014. AR-NT-POASEN 2016	Revisión de los artículos aplicables al sistema	Estudio de los artículos de las normas aplicables para el sistema.	Mediante la investigación de las normas.

Diseñar 2 propuestas que se adapten a las necesidades de la propiedad en estudio y que cumplan con las normativas vigentes analizadas en la investigación.	Propuesta 1 para abastecer las necesidades de la propiedad en estudio. Propuesta 2 para abastecer las necesidades de la propiedad en estudio.	Diseño 1 Diseño 2	Formulación de ambos diseños para realizar un listado de materiales, mano de obra, equipos e imprevistos	Listado de materiales, mano de obra, equipos e imprevistos.	Uso de software Auto CAD para realizar el dibujo del diseño, detalles y simbologías necesarios para entregar un diseño completo.
Estimar un presupuesto para cada una de las propuestas.	Presupuesto para la propuesta 1. Presupuesto para la propuesta 2.	Costo de la propuesta 1. Costo de la propuesta 2.	Cálculos financieros de la inversión de cada una de las propuestas.	Establecimiento financiero o por propuesta.	Uso de hoja de cálculo para la determinación de la inversión financiera de cada propuesta.
Recomendar a partir de la evaluación técnica y financiera de las propuestas, la solución óptima para la propiedad en estudio.	Evaluación técnica. Evaluación financiera. Solución óptima para la propiedad en estudio.	Análisis técnico, análisis financiero y la solución óptima.	Cálculos financieros de VAN y TIR que permiten evaluar la inversión antes de realizarla, junto con el análisis de la optimización recursos vs necesidades del sistema.	Análisis de los resultados de los cálculos obtenidos.	Uso de hoja de cálculo para la determinación de la solución óptima.

Fuente: Elaboración propia, 2023

#### 4.8 Instrumentos

En el desarrollo de esta investigación se utilizarán múltiples instrumentos para medición de variables eléctricas, entre los que se pueden enumerar:

1. Amperímetro Fluke mod. 915
2. Medidor de aislamiento Fluke 1507
3. Instrumentos de medición de longitudes, cinta métrica.
4. Medidor de resistencia de tierra Fluke 1625.
5. Amperímetro Amprobe

Además, se hará uso de herramientas de software como las hojas de cálculo de Excel y el software de dibujo AutoCAD.

## **CAPÍTULO V: DESARROLLO**

Inicialmente se evalúa la opción de sustituir el servicio monofásico 120/240VAC existente por un servicio trifásico 480/277VA, se realizan las consultas con el proveedor del servicio de la zona en estudio (ICE), siendo que únicamente se obtuvo una respuesta verbal y negativa, aduciendo que el servicio trifásico no pasa frete a la propiedad objeto de esta investigación y que el punto más cercano para obtener este nivel de voltaje dista 5 kilómetros de la propiedad, y únicamente se podría acceder a ese servicio realizando la inversión en la extensión de línea primaria y corriendo el propietario del inmueble con dicho costo.

En vista de lo anterior se realizó un rápido estudio de mercado para estimar el costo del kilómetro de línea primaria y se obtuvieron los siguientes datos:

Costo de línea primaria por kilómetro: \$50.000,00

Kilómetros de línea necesarios: 5

Costo total por extensión de línea primaria: \$250.000,00

Dado el elevado monto de la inversión necesaria para la construcción de la línea primaria y sustituir el servicio monofásico 120/240VAC por servicio trifásico 480/277 VAC, aunado a que se deberán sustituir también los equipos que cuentan con motores monofásicos por equipos con motores trifásicos, se considera esta propuesta como inviable.

### **5.1 Evaluación de la propiedad en estudio.**

#### **5.1.1. Evaluación de la calidad del voltaje del suministro eléctrico actual en la propiedad en estudio**

Cuando se menciona el tema de calidad de voltaje del servicio eléctrico instalado actualmente, se hace referencia al nivel de voltaje que se obtiene, al final de la acometida y en los puntos de consumo del sistema eléctrico.

Al ser este un servicio residencial monofásico 120/240 VAC el nivel de voltaje ideal sería de 120 V con una tolerancia +- 5%, sin embargo, la distancia de recorrido del cableado de acometida desde la base de medidor hasta el tablero de cargas que corresponde a 215m hace que la caída de tensión sea significativa, siendo su valor de aproximadamente un 7% en vacío, en la imagen 27 se puede apreciar una medición en vacío, reflejado un valor de voltaje de 111.4 VAC, el nivel de voltaje disminuye aún más su magnitud cuando realizamos el arranque de alguna de las cargas de

motores, en imagen 27 se puede observar el valor de voltaje (160.5 VAC) durante la operación del motor del Mixer de 5 HP mecánicos o 3.96 kW de potencia eléctrica, cabe mencionar que este arranque de motor provoca el apagón momentáneo de luces conectadas en la misma acometida debido a que durante el pico de arranque la magnitud del voltaje alcanza los 155 voltios.



Imagen 27 Medición de voltaje sin carga  
Fuente: Elaboración propia, 2023



Imagen 28 Voltaje con carga  
Fuente: Elaboración propia, 2023

Observando los niveles de voltaje de las imágenes anteriores se puede determinar que en vacío o con el sistema eléctrico sin carga hay una caída de tensión de 7.16% y una vez arrancado un motor de los necesarios para la operación del sistema de confinamiento esta caída de tensión alcanza un valor de 33%, ambos valores muy por encima de los valores permitidos y deseables, los cuales son de un 5% en la totalidad del sistema, siendo la en las buenas prácticas de construcción de sistemas eléctricos de un 2% para acometida y un 3% en circuitos ramales.

### 5.1.2. Ubicación del proyecto

El proyecto se ubica en la provincia de Limón, cantón Siquirres, distrito Germania, propiamente en el poblado Milano, geográficamente se ubica en las coordenadas 10.2° latitud norte y 83.6° longitud oeste, se puede acceder desde el GAM a través de la ruta número 32 y el tiempo estimado de viaje es de 1 hora con 20 minutos, todo el recorrido cuenta con rutas asfaltadas.



Imagen 29 Ubicación del proyecto  
Fuente: Google Earth, 2023

## 5.2 Análisis de la normativa

El código eléctrico de Costa Rica para la seguridad de la vida y de la propiedad está basado en la revisión en español de la edición 2014 de la NFPA 70, National Electric Code. Y es la norma que se aplicará para la realización del presente trabajo.

Se aplicarán todos los artículos que sean necesarios y que estén directamente relacionados con los distintos cálculos a realizar. Más adelante en cada uno de los cálculos que se realicen se hará alusión a él o los artículos y o tablas aplicables, siempre referenciados al NEC 2014.

## 5.3 Propuestas de diseño

### 5.3.1. Necesidades energéticas de la propiedad en estudio

#### 5.3.1.1. Determinación de cargas

El proyecto seleccionado para la realización de la presente investigación se encuentra en etapa de desarrollo, lo cual implica que ya hay infraestructura construida y distribución eléctrica en operación.

Para la estimación del consumo eléctrico se parte del consumo actual y se adicionan las cargas proyectadas a instalar de modo que se determinen los montos aproximados de consumo a futuro.

En los sistemas de confinamiento, el uso de motores es indispensable, puesto que muchas de las actividades diarias implican procesos de picado, mezclado, lavado, transporte de fluidos, entre otros.

CARGAS y CONSUMOS SISTEMA CONFINAMIENTO 120/240VAC, 1F,								
CARGA	VOTAJE	FASES	POTENCIA MECANICA	Corriente (230,249)	Potencia instalada	Carga Cont. 210.19 A	Potencia demandada	Corriente
Unidades	(V)		HP	Amperios	Watts		Watts	Amperios
PICA PASTO 1	240	1	3	8,3	1992	125,00%	2490	10,4
PICA PASTO 2	240	1	3	8,3	1992	125,00%	2490	10,4
ENSILADORA	240	1	2	5,9	1416	125,00%	1770	7,4
MIXER	240	1	5	13,2	3168	125,00%	3960	16,5
BOMBA AGUA (LAVADO Y CONSUMO)	120	1	2	5,9	1416	125,00%	1770	7,4
BOMBA PURINES	240	1	3	8,3	1992	125,00%	2490	10,4
TOMACORRIENTES GENERALES (10 ud / 180 VA)	120	1		15	1800		1800,0	15
TOMACORRIENTE USO GENERAL (50/100)	240	1		30	7200		7200,0	30
	<b>TOTAL en KW</b>				<b>20,976</b>		<b>23,97</b>	<b>107,4</b>

Tabla 3 Cargas sistema de confinamiento

Fuente: Elaboración propia, 2023

Para la determinación de cargas del sistema de confinamiento, se basaron los cálculos en la tabla 430.249 del NEC Edición 2014, en esta tabla se determina la corriente a plena carga en amperes reflejada en la tabla 3 en la columna Corriente (230,49 A), y a partir de dichos valores y conociendo que el voltaje de operación de los equipos es de 240 VAC, se realizó el cálculo de la potencia eléctrica de cada uno de los motores y su sumatoria, a estas cargas se le adicionan las salidas de tomacorrientes que corresponde a 10 salidas de 180 va cada una según lo establecido en el artículo

220.14 I del NEC edición 2014. Obtenidos los valores de todas las cargas se determinó que la carga total para el sistema de confinamiento es de **23.97 kW**.

### 5.3.1.2. Cargas casa de habitación

Para la estimación de las cargas eléctricas para la casa de habitación se realizó un diseño eléctrico de los circuitos, para tales efectos esta tesis se ha basado en el NEC2014, con la aplicación de esta normativa se garantiza una instalación eléctrica segura y eficiente, sin dejar de lado el tema de los costos que siempre es importante en todo proyecto.

Las estimaciones de las cargas de iluminación se basan en la cantidad y tipo de luminarias a utilizar, para este proyecto se prevé la utilización de iluminación de tecnología LED de baja potencia y alta eficiencia.



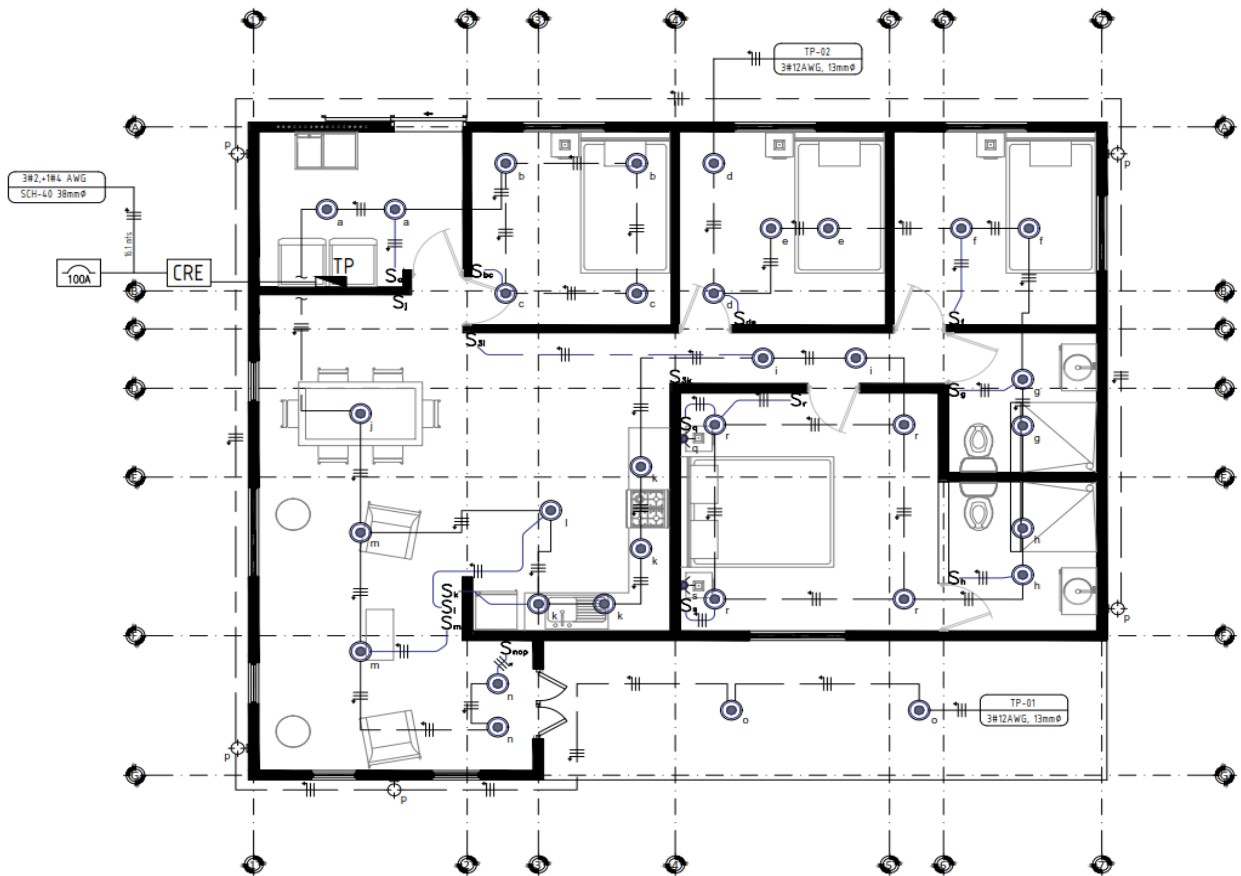
	<i>LUMINARIA TIPO LED PANEL Ø6",12W 6000K 720LM MAX 100W, 120V, A ESGOGER EN OBRA</i>
	<i>LUMINARIA DE PARED,BIDI LED TERRA 9W 600LM 3.0K,MAX 100W, 120V, A ESGOGER EN OBRA</i>

Imagen 30 Simbología iluminación

Fuente: Elaboración propia, 2023. Software AutoCad 2017

Con base en el tipo de luminaria a utilizar, se determinó la carga de iluminación como la sumatoria de iluminación exterior e iluminación general de la unidad habitacional, con los siguientes valores:

- Iluminación exterior: 5 luminarias de 9W = 45W
- Iluminación General: 37 luminarias de 12W = 444 W



PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE ILUMINACIÓN  
ESC: 1/50

Imagen 31 Planta de distribución de iluminación  
Fuente: Elaboración propia, 2023. Software AutoCad 2017

Para las salidas de tomacorrientes de baño, cocina y generales se estimó una carga de 180 VA en apego al artículo 220.14 I del NEC 2014 para un total de 6760 VA de potencia.

Existe una salida especial para cocina eléctrica estimada en 8 kW que con base en lo establecido en la tabla 220.55, se consideró al 80% de su potencia, lo cual, resulta en una carga en cocina de 6.4kW. El plano completo de la unidad habitacional se encuentra en el anexo 6.



PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE TOMACORRIENTES

ESC: 1/50

Imagen 32 Planta de distribución de tomacorrientes  
Fuente: Elaboración propia, 2023. Software AutoCad 2017.

La carga instalada para la unidad habitacional es de 15.25 kW, a partir de este valor se determinó realizar los cálculos de la potencia demandada aplicando lo establecido en la tabla 220.42 del NEC2014, por lo tanto, se aplicó el 100% de los primero 3KW y el 35% del restante, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

DETERMINACION DE DEMANDA 220,42	
FACTOR DE DEMANDA	0,78
ILUMINACION (W)	489
LAVANDERIA (W)	720
TOMAS GENERALES (W)	3780
CIRTOS COCINA (W)	2260
SUBTOTAL (W)	7249
Watts al 100%	3000
Watts al 35%	2537,15
TOTAL (W)	5537,15
COCINA (W)	8000
TABLA 220,55 (W)	6400
TOTAL DEMANDADA (kW)	11,94

Tabla 4 Resumen unidad habitacional  
Fuente: Elaboración propia, 2023

Tomando en cuenta que la potencia instalada es de 15,25 kW, se aplican los factores establecidos en el artículo 220.42 del NEC 2014 y se determina una carga demandada de **11.94 kW** tal y como se muestra en la tabla 4.

### 5.3.1.3. Factor de demanda (fd)

Para la determinación del factor de demanda, que no es más que la relación que existe entre la potencia demandada y la potencia instalada, se toman los valores y aplicamos la siguiente ecuación:

$$fd = \text{Potencia demanda en Kw} / \text{Potencia instalada en Kw}$$

$$fd = 11,94 \text{ kW} / 15,25 \text{ kW} = 0,78$$

$$fd = 0,78$$

Del cálculo anterior se define que una vez aplicados los artículos correspondientes y establecidos en el NEC 2014, tenemos un factor de demanda de un 78%, este factor es de suma importancia para la selección de protecciones y calibre de conductores para los diferentes circuitos y acometidas.

### 5.3.1.4. Soluciones de suministro de energía

El principal reto para el diseño de este proyecto es la distancia de acometida desde el poste de servicio público de ICE y la ubicación de los inmuebles y puntos de consumo de energía, puesto que la caída de tensión es un factor que afecta el funcionamiento de equipos y limita el crecimiento con nuevos equipos necesarios para el desarrollo de la actividad ganadera y la unidad habitacional, por tal razón se valorarán dos opciones de manera que se alcance una solución económica y técnicamente viable.

### 5.3.2. Propuesta 1: *Booster* de transformadores para la totalidad de la carga

#### 5.3.2.1. Instalación de *booster* de transformadores para la totalidad de la carga

Tomando en cuenta la versatilidad de los equipos transformadores de voltaje y pensando además en un ahorro económico se propone la adquisición de un juego de transformador baja-baja con capacidad suficiente para soportar tanto, las cargas del sistema de confinamiento como de la unidad habitacional cuyos valores se pueden observar en la siguiente tabla:

Resumen de cargas conectadas a 120/240VAC			
Carga	Demanda (kW)	Voltaje (V)	Corriente (A)
Cargas confinamiento	23,97	240	99,88
Cargas Vivienda	11,94	240	49,74
Totales	35,91		149,61
Resumen de cargas conectadas a 480VAC			
Carga	Demanda (kW)	Voltaje (V)	Corriente (A)
Cargas confinamiento	23,97	480	49,94
Cargas Vivienda	11,94	480	24,87
Totales	35,91		74,81

Tabla 5 Resumen de Cargas Totales

Fuente: Elaboración propia, 2023

De acuerdo con los valores mostrados en la tabla 4, la carga total es de 35.91 kW, por lo que se eligió la potencia de transformador comercial monofásico de 37.5 kVA, con una tensión en su devanado primario de 120/240 VAC y una salida del devanado secundario de 480/277 VAC, y, de esta manera poder minimizar la caída de tensión en la acometida principal y evitar un trabajo de mayores dimensiones y mayor costo.

Una vez que se determinó la potencia del *booster* de transformadores, se deben realizar los cálculos de la acometida necesaria para el transporte de la energía y sus conexiones.

Para la elección de los calibres y tipo de conductores a utilizar, éstos se basarán en los siguientes aspectos:

Voltage transmission (V)	480
Caída de Voltaje máx. permitido (%)	2%
Caída de Voltaje máx. Voltios permitidos (V)	9,6
Voltaje mínimo aceptable (V)	470,4

Tabla 6 Caída de voltaje mímica permitida  
Fuente: Elaboración propia, 2023

De la tabla 6, el voltaje de transmisión corresponde al valor de tensión al cual se desea elevar para lograr su transporte sin tener pérdidas considerables o mayores al 2%, este 2% del voltaje nominal represente un valor de 9.6 VAC, por lo que se deben realizar los cálculos con los valores reales del sistema y así se determinará el calibre de conductor adecuado para este caso específico, para el cálculo se aplicará la siguiente ecuación:

$$Cv = \frac{6 \cdot I \cdot L}{A \cdot VL}, \text{ donde:}$$

6: Constante para conductores de aluminio

I: Intensidad de corriente en amperios, este es el valor calculado según la potencia demanda y voltaje de operación.

L: Longitud de acometida en metros. Valor determinado es de 215 m

A: Área de sección transversal del conductor Tabla 8. NEC 2014. Se selecciona el calibre 4/0 XHHW-2 Serie 800 para una sección de 107.4 mm<sup>2</sup>

VL: Voltaje de Línea. Se trabaja con 480 VAC.

$$Cv = \frac{6 \cdot 74.81 \text{A} \cdot 215 \text{m}}{107.4 \text{mm}^2 \cdot 480 \text{V}} = 1.9\%$$

El porcentaje de caída de voltaje obtenido es de 1.9% o lo que es igual a 9 V, valor que está por debajo del 2% ó 9.6 V que son los valores máximos permitidos, estos valores se logran con la utilización de conductor del calibre 4/0 en aluminio cuya sección transversal es de 107.4 mm<sup>2</sup>.

Toda la instalación para esta acometida será aérea, esto por cuanto las condiciones del terreno y el uso de éste en la ruta de acometida es meramente agrícola.

En la siguiente imagen se muestra un esquemático del sistema de *booster* de transformadores:

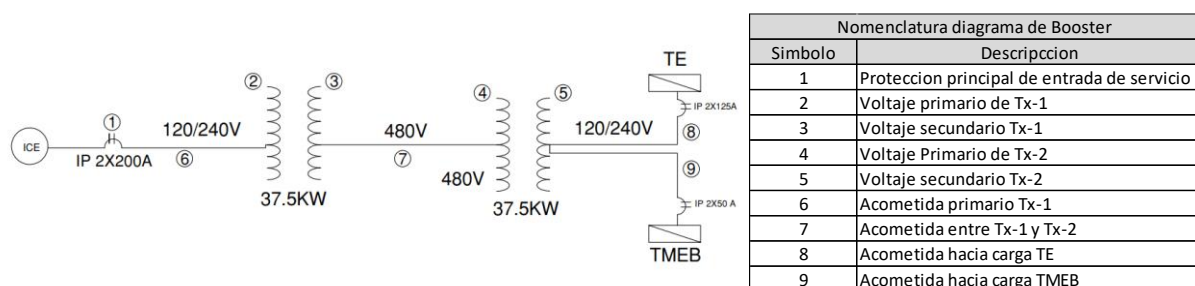


Imagen 33 Esquemático de acometida general con *Booster*

Fuente: Elaboración propia, 2023. Software AutoCad 2017

### 5.3.2.2. Acometida y protecciones para booster

Con la potencia de los transformadores definida, se debe realizar los cálculos respectivos para el dimensionamiento de acometidas y protecciones para el sistema de booster, en la imagen 33 se enumeran los puntos importantes para los cuales se deben realizar los cálculos y definir sus características.

En la siguiente tabla se detallan los valores necesarios para el dimensionamiento de todos los elementos que componen el booster.

PROTECCION DE TRANSFORMADOR	
Potencia de transformador KW	37,50
Voltaje entrada (V) Primario	240,00
Voltaje de salida (V) Secundario	480,00
Sistema (Fases)	1,00
Factor de potencia (f.p.)	1,00
Corriente (A) en el primario a 240V	156,25
Corriente (A) en el secundario a 480V	78,13
Corriente para proteccion Tabla 450.3.B NEC2014 (1,25%)	195,31
Proteccion principal (Polos / Amperios)	2/200

Tabla 7 Parámetro de cálculo para protección del booster

Fuente: Elaboración propia, 2023

### 5.3.2.3. Cálculo de protección principal de entrada de servicio

Como se puede apreciar en la tabla 7, el valor de la protección principal correspondiente al identificador 1 de la imagen 33 corresponde a un interruptor termo magnético de 2 polos 200 amperios, para su cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{V * f.p.}, \text{ donde:}$$

I= corriente en amperios

P= Potencia demandada en kW

V= Voltaje de fase

f.p.= Factor de potencia

$$I = \frac{37,5kW}{240V * 1} = 156.25 A.$$

De la ecuación anterior se determina que la corriente en el primario de Tx-1 es de 156.25 amperios, a este valor se le aplica lo establecido en el NEC 2014 en el artículo 450 tabla 450.3.(B) la cual indica que para el cálculo de la protección del primario de un transformador se debe aplicar un factor del 25% de su corriente nominal, por lo que al aplicar ese factor a la corriente calculada de 156.25 amperios se obtiene un valor de 195.31 amperios tal y como se muestra en la imagen 34, con este valor de corriente se elige la protección termo magnética, en este caso se eligió el valor nominal estándar inmediatamente superior, por lo que la protección que se debe utilizar es de 2 polos 200 amperios.

### 5.3.2.4. Cálculo de calibre de acometida principal desde servicio ICE hasta Tx-1

De la tabla 4 se puede observar la potencia demandada, la cual corresponde a 35,91 kW la corriente nominal en el primario del transformador Tx-1 es de 149,61 amperios por lo que basados en la tabla 310.15.b.16 del NEC 2014, se seleccionaron los calibres de conductores adecuados para acometida con identificador 6 de la imagen 33, siendo que el conductor THHN de cobre calibre 2/0 con una intensidad de corriente máxima de 175 amperios es el calibre adecuado, es importante señalar que la longitud de esta acometida es de aproximadamente 6 metros, por lo que no se

realizaran cálculos para caída de tensión, podemos por lo tanto decir que dicha acometida estará constituida de la siguiente manera:

L1= 1 x THHN 2/0 AWG.

L2= 1 x THHN 2/0 AWG.

Neutro: 1 x THHN 2/0 AWG.

Tierra: 1 x THHN #2 AWG.

### 5.3.2.5. Cálculo de calibre de acometida entre Tx-1 y Tx-2

Para la acometida entre Tx-1 y Tx-2 del esquemático de la imagen 33, que corresponde al identificador número 7 se tomaron los siguientes datos:

Caída de tensión para acometida general 480VAC	
Conductores Aluminio Serie 8000	
Constante para aluminio	6
Corriente (A)	74,81
Longitud de acometida (m)	215
Sección transversal de conductor elegido 4/0(mm <sup>2</sup> )	107,4
Voltaje de línea (V)	480
Caída de tensión calculada (%)	1,9%
Caída de tensión actual (V)	9,0

Tabla 8 Caída de tensión para acometida

Fuente: Elaboración propia, 2023

Siendo el principal reto para superar con la implementación de este proyecto, el control de la caída de tensión en el circuito, cuya longitud entre transformadores booster es de 215 metros y con una caída máxima permisible del 2% o 9.6 VAC, el calibre resultante es el mostrado en la tabla anterior el cual corresponde a calibre 4/0 XHHW-2 serie 8000 en aluminio según NEC 2014, tabla 310.17 y cuya ruta será aérea.

### 5.3.2.6. Cálculo de calibre de acometida de Tx-2 hacia Carga 1 Sistema de confinamiento

En este caso dicha acometida corresponde al identificador 8 de la imagen 33 y se utiliza el dato de corriente demandada de 107.4 amperios, una longitud de acometida de 6m, el voltaje de operación será de 240 VAC.

Se selecciona el calibre de conductor adecuado según la tabla 310.15.b.16 del NEC 2014, siendo el calibre #2 THHN en cobre, con una ampacidad de 115 A el seleccionado. De la tabla 8 del NEC

2014 tomamos el área del conductor y se realiza la comprobación de la caída de tensión en dicha acometida utilizando la siguiente ecuación:

$$CV = \frac{4 \times I \times L}{A \times V}$$

$$CV = \frac{4 \times 107.4 \times 6}{33.62 \times 240} = 0.32\%$$

El valor de la caída de tensión es de 0.32%, valor que está por debajo del máximo requerido que es de un 2% bajo las buenas prácticas de cálculo de circuitos eléctricos.

Por otro lado, se debe seleccionar el diámetro adecuado de la canalización, valor que se encuentra en la tabla C.1 del NEC 2014, y que corresponde a un tubo EMT de 35mm (1-1/4”).

ACOMETIDA CONFINAMIENTO CON BOOSTER	
CAIDA DE TENSION (%)	
CORRIENTE (A)	107,4
LONGITUD (M)	6
CAIDA DE TENSION MAXIMA ( %)	2%
CALIBRE SELECCIONADO (310.15.b.16)	#2
AREA DE CONDUCTOR (MM2) (tabla 8)	33,62
VOLTAJE (V)	240
CAIDA DE TENSION ACTUAL (%)	0,32%
MATERIAL DEL CONDUCTOR	Cu
CANALIZACION (TABLA 8 NEC)	1 X EMT 32MM

Tabla 9 Cálculo de caída de tensión

Fuente: Elaboración propia, 2023

Se tiene por lo tanto que esta acometida será de características según la siguiente tabla

ACOMETIDA CONFINAMIENTO CON BOOSTER				
CARACTERISTICAS DE ACOMETIDA	L1	L2	N	T
CALIBRE CONDUCTOR	2 AWG	2 AWG	2 AWG	8 AWG
PARALELO	1	1	1	1
AISLAMIENTO	THHN	THHN	THHN	THHN
MATERIAL	Cu	Cu	Cu	Cu
LONGITUD	6	6	6	6
CANALIZACION	EMT 32MM			

Tabla 10 Características de acometida

Fuente: Elaboración propia, 2023

### 5.3.2.7. Cálculo de calibre de acometida de Tx-2 hacia Carga 2 “Casa de Habitación”

En este caso dicha acometida corresponde al identificador 9 de la imagen 33 y se utiliza el dato de corriente demandada de 49.7 amperios, una longitud de acometida de 22m, el voltaje de operación será de 240vac.

Se selecciona el calibre de conductor adecuado según la tabla 310.15.b.16 del NEC 2014, siendo el calibre #4 THHN en cobre, con una ampacidad de 70 A a 60°C el seleccionado, de la tabla 8 del NEC 2014 tomamos el área del conductor y se realiza la comprobación de la caída de tensión en dicha acometida utilizando la siguiente ecuación:

$$CV = \frac{4 \times I \times L}{A \times V}$$

$$CV = \frac{4 \times 49.7 \times 22}{21.15 \times 240} = 0.86\%$$

El valor de la caída de tensión es de 0.86%, valor que está por debajo del máximo requerido que es de un 2% bajo las buenas prácticas de cálculo de circuitos eléctricos.

Por otro lado, se debe seleccionar el diámetro adecuado de la canalización, valor que podemos encontrar en la tabla 8 del NEC 2014, y que corresponde a un tubo EMT de 25mm (1”).

ACOMETIDA DE CASA A PARTIR DE BOOSTER	
CAIDA DE TENSION (%)	
CORRIENTE (A)	49,7
LONGITUD (M)	22
CAIDA DE TENSION MAXIMA ( %)	2%
CALIBRE SELECCIONADO (310.15.b.16)	#4
AREA DE CONDUCTOR (MM2) (tabla 8)	21,15
VOLTAJE (V)	240
CAIDA DE TENSION ACTUAL (%)	0,86%
MATERIAL DEL CONDUCTOR	Cu
CANALIZACION (TABLA 8 NEC)	1 X EMT 25MM

Tabla 11 Calculo de caída de tensión

Fuente: Elaboración propia, 2023

Se tiene, por lo tanto, que esta acometida será de características según la siguiente tabla:

CORRIENTE (A)				
CARACTERISTICAS DE ACOMETIDA	L1	L2	N	T
CALIBRE CONDUCTOR	4 AWG	4 AWG	4 AWG	8 AWG
PARALELO	1	1	1	1
AISLAMIENTO	THHN	THHN	THHN	THHN
MATERIAL	Cu	Cu	Cu	Cu
LONGITUD	22	22	22	22
CANALIZACION	EMT 25MM			

Tabla 12 Características de acometida

Fuente: Elaboración propia, 2023

### 5.3.3. Propuesta 2: Sistema fotovoltaico combinado con una acometida independiente para una unidad habitacional

#### 5.3.3.1. Sistema Fotovoltaico aislado para el confinamiento

Como una segunda opción a analizar se tiene la implementación de un sistema fotovoltaico aislado de la red y exclusivamente para suministrar potencia eléctrica al sistema de confinamiento.

Para el sistema de producción de energía, mediante el uso de paneles solares, se utilizará el panel de la marca JAsolar, modelo JAMS272S30 550 / 1500V MR y cuyos datos técnicos se enlistan a continuación:

Característica	Unidad	Parametro
Potencia maxima promedio	W	550
Voltaje de circuito abierto	V	49,15
Maxima corriente de trabajo	A	13,11

Fuente: [www.jasolar.com](http://www.jasolar.com)

Tabla 13 Características técnicas del JAM72S30 525MR

Fuente: JAsolar, s.f.

La determinación de la cantidad de paneles solares necesarios para producir la energía requerida para las instalaciones será determinada en base a los datos técnicos de los paneles a utilizar y los datos de carga demandada en apego a los datos mostrados en la tabla 13.

#### 5.3.3.2. Determinación de la necesidad de energía en kW/h día para el sistema de confinamiento

El sistema de confinamiento tiene en su haber una potencia de 20.976 kW instalados, sin embargo, no todos los equipos operan de forma simultánea, por lo que es necesario establecer

claramente el horario de operación y los equipos en operación a lo largo del día, en la siguiente tabla se detallan:

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DIARIAS				
ACTIVIDAD	HORA INICIO	DURACION (HORAS)	RESPONSABLE	EQUIPO A UTILIZAR
ALIMENTACION DE ANIMALES	07:00	1	OPERARIO 1 Y 2	MIXER
LAVADO DE CORRALES	08:00	3	OPERARIO 1 Y 2	BOMBA AGUA (LAVADO Y CONSUMO)
EXTRACCION DE PURINES	08:00	3	OPERARIO 1 Y 2	BOMBA PURINES
PREPARACION DE RACIONES DEL DIA SIGUIENTE	11:00	3	OPERARIO 1 Y 2	PICAPASTO 1 Y 2 Y MIXER
ENSILAJE DE MATERIAL SOBRENTE (PROVISION)	14:00	2	OPERARIO 1 Y 2	ENSILADORA

Tabla 14 Horario de operación y equipos en operación  
Fuente: Elaboración propia, 2023

Cabe resaltar que, al tratarse de una actividad pecuaria y que por ende involucra animales vivos en confinamiento, estos dependen 100% de la intervención humana para suplir su necesidad de nutrición, higiene y santificación por lo que la jornada laboral se extiende de lunes a lunes los 365 días del año, con la salvedad de que únicamente se requiere atención durante el día.

Determinados los tiempos de operación de los equipos, se debe establecer basados en la cantidad de horas y la potencia de cada equipo, la energía necesaria en kW/h mensualmente; en la siguiente tabla se muestran los valores:

CARGAS y CONSUMOS SISTEMA CONFINAMIENTO 120/240VAC, 1F,											
CARGA	VOTAJE	FASES	POTENCIA MECANICA	Corriente (230,249)	Potencia instalada	Potencia demandada	Uso Diario	Uso semanal	Energía	Energía	Energía
Unidades	(V)		HP	Amperios	Watts	Watts	Horas	Horas	W/h/Dia	W/h/Semanal	kW/h/Mensual
PICA PASTO 1	240	1	3	8,3	1992	2490	4	28	9960	121,24	301,89
PICA PASTO 2	240	1	3	8,3	1992	2490	4	28	9960	121,24	301,89
ENSILADORA	240	1	2	5,9	1416	1770	8	56	14160	242,48	429,19
MIXER	240	1	5	13,2	3168	3960	4	28	15840	121,24	480,11
BOMBA AGUA (LAVADO Y CONSUMO)	120	1	2	5,9	1416	1770	6	42	10620	181,86	321,89
BOMBA PURINES	240	1	3	8,3	1992	2490	4	28	9960	121,24	301,89
TOMACORRIENTES GENERALES (10 ud / 180 VA)	120	1		15	1800	1800,0	1	7	1800	30,31	54,56
TOMACORRIENTE USO GENERAL (50/100)	240	1		30	7200	7200,0	1	7	7200	30,31	218,23
<b>TOTAL en KW</b>					<b>20,976</b>	<b>23,97</b>			<b>79,5</b>	<b>0,97</b>	<b>2409,65</b>

Tabla 15 Determinación de energía  
Fuente: Elaboración propia, 2023

En la tabla 15, se han determinado los valores de energía necesaria por día, semana y mes, según la cantidad de horas que opera cada equipo y su potencia de consumo, para efectos de cálculos fotovoltaicos, se utilizarán los valores de energía en kW/h/mes, específicamente el valor total 2409.65 kW/h/mes.

### **5.3.3.3. Cálculo de número de paneles solares**

Para el diseño del sistema fotovoltaico, se determinaron la cantidad de paneles solares necesarios para suplir el 100% de la carga del sistema de confinamiento. Una vez establecido el número de paneles, se debe analizar si el área de techo disponible está en capacidad de albergar la planta completa o si se debe reducir el número de paneles y, por ende, la disponibilidad de energía para adaptarla al área disponible.

Para el cálculo del sistema, es importante tener claros los datos primordiales para la aplicación de la ecuación, para este caso se tomarán los datos más desfavorables de modo que los resultados sean útiles en el peor de los casos a lo largo del año, a continuación, se realiza un breve recorrido por datos relevantes para el cálculo.

### **5.3.3.4. Condiciones meteorológicas de Milano de Siquirres, Limón**

Previo al diseño de sistemas de energías renovables, se presentarán condiciones meteorológicas para la zona en la que se encuentra ubicado el proyecto y cuyas coordenadas geográficas corresponden a 10.2° latitud norte y 83.6° longitud oeste.

Para la determinación de los datos de condiciones meteorológicas del sitio, esta investigación se basa en datos obtenidos a partir de Meteonorm, el cual es una combinación única de información climatológica y sofisticadas herramientas de cálculo para la interpolación de datos alrededor del mundo. Software de la compañía fabricante suiza Meteotest AG, con una de las bases de datos climatológicos más completa del mercado de reconocimiento internacional.

La descarga de los datos requeridos para la presente investigación se realizó a partir de un “demo” gratuito de 7 días, la siguiente imagen se tomó del sitio web <https://meteonorm.com/en/#landingContent> y corresponde a la interfaz en la que se puede acceder al software DEMO.

Imagen 34 Vista de interfaz de descarga de software  
Fuente: Meteonorm, s.f.

Meteonorm v8.0.2					
Nombre del lugar = Milano Siquirres					
Latitud (°) = 10,183, Longitud (°) = 83,579, Altitud (m) = 49					
Modelo irradiancia = Estándar (hora); Modelo temperatura = Standard (hora)					
Modelo de la radiacion difusa = Srandar (hora)					
Modelo Irrad. Incl. = Standard (hora)					
Radiacion = Periodo nuevo 1996-2015					
Temperatura : periodo nuevo = 2000-2019					
Mes	H_Gh	H_Dh	H_Bn	Ta	
Enero	138	71	105	24,7	
Febrero	138	75	92	25,6	
Marzo	167	88	10	26,7	
Abril	162	84	105	27,9	
Mayo	163	88	102	28,4	
Junio	148	82	91	28,4	
Julio	148	89	80	27,5	
Agosto	133	85	64	27,6	
Septiembre	139	88	69	27,6	
Octubre	150	82	96	27,1	
Noviembre	121	68	84	25,7	
Diciembre	117	68	80	24,9	
H_Gh	Irradiacion global horizontal				
H_Dh	Irradiacion difusa horizontal				
H_Bn	Irradiacion de la radiacion directa normal				
Ta	Temperatura del aire				
Radiacion en kWh/m2					
temperatura en (°C)					
RR: Solamente 4 estacion / es para interpolar					
RD: Dolamente 3 estacion / es para interpolar					
Gh: use of precalculated radiation map based on satellite and ground information due to low density of network. (Parte de los datos de satilite : 100%)					
3 estaciones mas prodima: Ta: Limon Intl Airp. (61km), Liberia/Tomas Guard (221km), San Jose/ Santa Maria (73 km)					
Incertidumbre de valores anuales: Gh: 5%, Bn = 10%, Ta = 1,1 °C					
Tendencia de gh / decada = -%					
Variabilidad de gh / año = 1,7%					
P90 and P10 or yearly Gh, referenced to average = 97,2%, 102,1%					

Tabla 16 Datos meteorológicos Milano Siquirres  
Fuente: Meteonor.com Software Demo v8.0.2

Para la implementación de sistemas de producción de energía fotovoltaica, es imperativo tener claridad de la radiación solar en el área de interés, como se puede observar en la tabla 16 el mes con mayor irradiación solar global horizontal G\_Gh es el mes de marzo con 167 kWh/m<sup>2</sup>, y el de

menor es el mes de diciembre con 117 kWh/m<sup>2</sup>, de los datos de la imagen anterior también se puede determinar el valor promedio que es de 143.66 kWh/m<sup>2</sup>.

Como apoyo adicional se puede utilizar el mapa Solargis (imagen 35) recomendado por el Instituto Meteorológico Nacional para determinar promedios de radiación solar en Costa Rica.

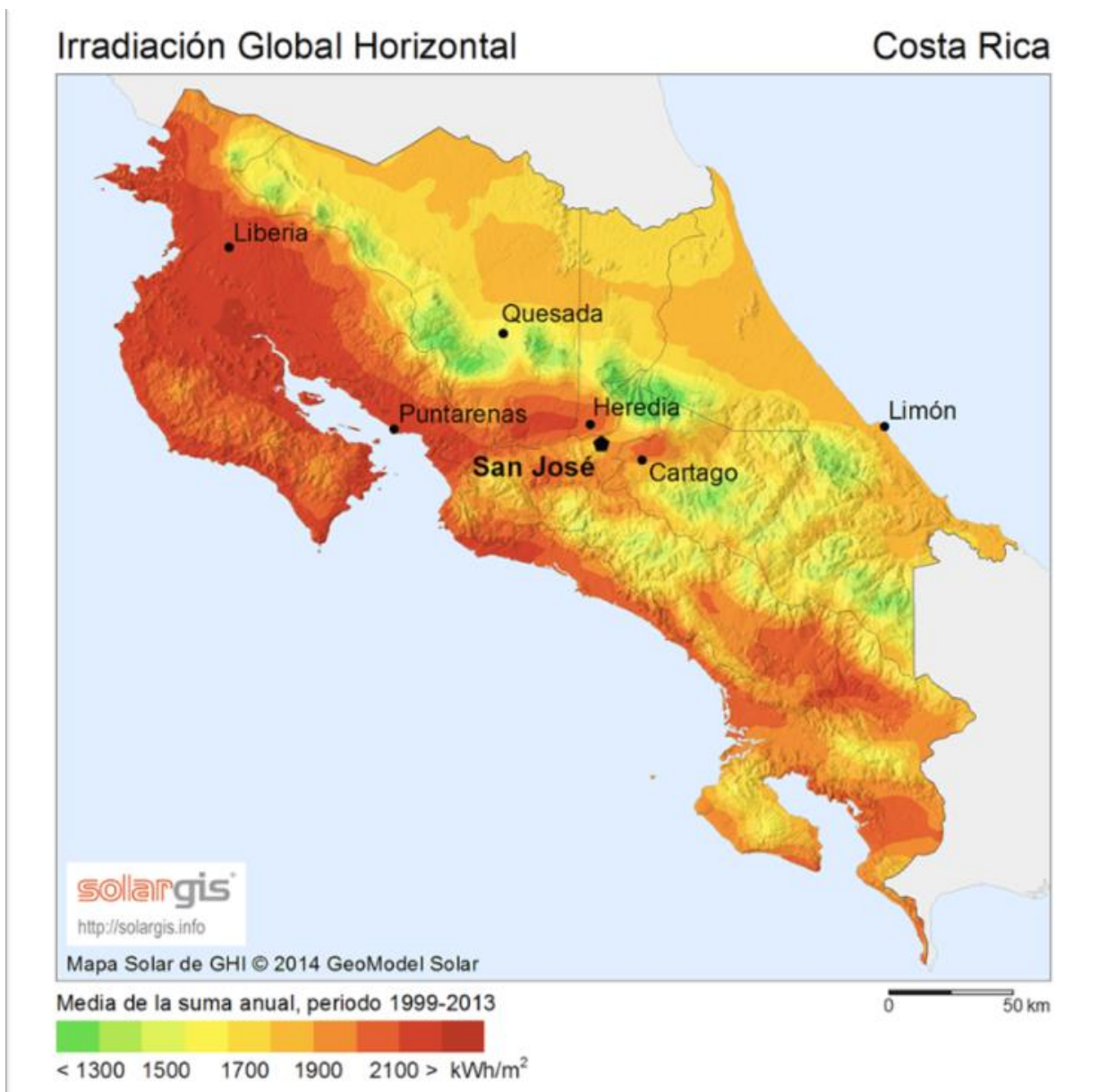


Imagen 35 Mapa de irradiación de Costa Rica

Fuente: Solargis.com

Como se aprecia, para la provincia de Limón, se tiene una transición entre amarillo y naranja, con valores que van desde 1700 hasta los 1900 kWh/m<sup>2</sup>, al realizar la comparación con los datos obtenidos del software Meteonorm demo V8.0.2 se toma el valor promedio y se multiplica por los 12 meses del año y se obtiene:

$$\text{Irradiación anual: } 143.66 \text{ kWh/m}^2 \times 12 \text{ meses} = 1724 \text{ kWh / m}^2$$

Dado lo anterior, se puede indicar que los datos, aunque son de fuentes distintas, arrojan valores similares o dentro de rangos aceptables.

### 5.3.3.5. Cálculo de cobertura mensual de módulos fotovoltaicos

Seguidamente se determina la cantidad de paneles necesarios para cubrir la demanda energética del mes con mayor consumo y la menor irradiación global horizontal, en este caso se toma el consumo de cualquier mes de 31 días y se determina la irradiación global horizontal del mes de diciembre (ver tabla 17), puesto que éste es el mes más crítico en cuanto a disponibilidad producción fotovoltaica y además coincide con ser uno de los meses con mayor consumo tal y como se aprecia en la siguiente tabla:

Mes	Días al mes	Consumo (kWh/mes)
Enero	31	2464,50
Febrero	29	2305,50
Marzo	30	2385,00
Abril	31	2464,50
Mayo	30	2385,00
Junio	31	2464,50
Julio	30	2385,00
Agosto	31	2464,50
Septiembre	30	2385,00
Octubre	31	2464,50
Noviembre	30	2385,00
Diciembre	31	2464,50
<b>TOTAL</b>	<b>365</b>	<b>29017,50</b>

Tabla 17 Consumo mensual sistema confinamiento  
Fuente: Elaboración propia, 2023

El cálculo del número de paneles en el mes más crítico se realiza mediante la aplicación de la ecuación de la sección 3.35 del presente documento, el número de paneles que se calcula se denomina “Numero de paneles sobredimensionado”.

$$NP = \frac{E}{0.9 \times W_p \times H_{Gh}}$$

$$NP = \frac{29017.50}{0.9 \times 0.55 \times 117}$$

$$NP = 42.55 \text{ Paneles solares}$$

Del cálculo anterior, se establece que, se requieren 43 paneles solares para satisfacer la demanda energética de 29017.50 kW/h mes, que corresponde a cualquier mes de 31 días y la irradiación global horizontal más baja que corresponde al mes de diciembre y cuya magnitud es de  $G_h$  de 117 kW/h m<sup>2</sup>.

A continuación, se desarrolla un ejercicio comparativo entre la energía demandada a lo largo del año y la energía producida de manera sobredimensionada en el mismo periodo de tiempo, para realizar este cálculo se multiplica la energía producida por un panel y luego esto por la cantidad de paneles:

Energía producida por el conjunto de los 43 paneles:  $0.55\text{kW} \times 0.9 \times 43$  donde 0.9 corresponde a la eficiencia del sistema, este cálculo da como resultado 21.29 kW, lo que implica que en 1 hora se obtendrán 21.29 kW/h, seguidamente ese valor se multiplica por la irradiación global horizontal de cada mes para obtener la producción mensual, en la siguiente tabla se detalla el cálculo de cada mes.

Mes	Irradiacion solar Global Horizontal kW/h m2 mes	Generacion Sobredimensionada (kWh/mes)
enero	138,00	2937,33
febrero	138,00	2937,33
marzo	167,00	3554,60
abril	162,00	3448,17
mayo	163,00	3469,46
junio	148,00	3150,18
julio	148,00	3150,18
agosto	133,00	2830,91
septiembre	139,00	2958,62
octubre	150,00	3192,75
noviembre	121,00	2575,49
diciembre	117,00	2490,35
	<b>1724,00</b>	<b>36695,34</b>
	<b>% de generacion</b>	<b>126,46%</b>

Tabla 18 Generación sobredimensionada  
Fuente: Elaboración propia, 2023

En la tabla anterior se evidencia la producción que se obtendría con la instalación de 43 paneles solares en cada uno de los meses, así como el total de energía anual, si este valor se confronta con el consumo energético anual proyectado para así determinar una sobreproducción de un 26,46 % de energía.

Tomando como base el dato anterior de sobreproducción, será necesario realizar un cálculo ajustado, de manera que esta sobreproducción no se dé, y por ende un mal aprovechamiento de los recursos, para esta estimación se tomará la potencia pico de 1 panel solar y se multiplica por la irradiación solar global horizontal y por la eficiencia del sistema que corresponde a un 90%, para mayor claridad, se realiza un ejemplo con el mes de enero con los datos de la tabla 18.

$$G1P = Wp * G_Hg * PR$$

Donde:

G1P= Generación de 1 panel en 1 mes kWh/mes.

Wp= Potencia pico del panel en Wats

$G_{Hg}$ = Irradiación solar global horizontal para el mes de enero en kWh m<sup>2</sup>

PR= Performance ratio (Relación de calidad).

$$G1P = 0.55 * 138 * 0.9$$

$G1P = 68.31 \text{ kWh/mes}$  para enero.

DATOS DE GENERACION DE 1 UNIDAD DE MODULO FOTOVOLTAICO					
Mes	Qty (días)	Irradiacion solar Global Horizontal kW/h m2 mes	PR	kWp	Generacion de un panel (kWh/mes)
enero	31	138,00	90%	0,550	68,31
febrero	29	138,00	90%	0,550	68,31
marzo	31	167,00	90%	0,550	82,67
abril	30	162,00	90%	0,550	80,19
mayo	31	163,00	90%	0,550	80,69
junio	30	148,00	90%	0,550	73,26
julio	31	148,00	90%	0,550	73,26
agosto	31	133,00	90%	0,550	65,84
septiembre	30	139,00	90%	0,550	68,81
octubre	30	150,00	90%	0,550	74,25
noviembre	30	121,00	90%	0,550	59,90
diciembre	31	117,00	90%	0,550	57,92
				Generacion de un panel (kWh/año)	853,38
				Consumo estimado (kWh/año)	29017,50
				N modulos	34,00

Tabla 19 Estimación de paneles ajustados

Fuente: Elaboración propia, 2023

En el recuadro azul de la tabla 19 se reflejan los datos de producción de energía de 1 unidad de panel solar fotovoltaico modelo JAM72S30-550-MR-1500V de 550Wp, y en el recuadro rojo de la tabla 18 la totalización de producción energética de 1 panel en un periodo de 12 meses, que lógicamente corresponde a la suma de las producciones de cada mes.

De acuerdo con los datos mostrados en la tabla 19, se obtiene una producción de energía de 853,38 kWh/año con solo 1 panel solar y un consumo estimado según Tabla 17 de 29017,50 kWh/año, por tanto, al realizar la división del consumo total estimado entre la producción de energía de

un panel en un año, se determinó que, se requieren 34 paneles solares para cubrir el 100% de la carga, sin sobreproducción y sin sub-producción. En la siguiente tabla se demuestra la producción mensual con número de paneles ajustados a 34 unidades y su relación producción / consumo, que tal y como se refleja es en la practica 1 a 1.

Mes	Qty (días)	Consumo (kWh/mes)	Irradiacion solar Global Horizontal kW/h m2 mes	Generacion ajustada (kWh/mes)
enero	31	2464,50	138,00	2322,54
febrero	29	2305,50	138,00	2322,54
marzo	31	2385,00	167,00	2810,61
abril	30	2464,50	162,00	2726,46
mayo	31	2385,00	163,00	2743,29
junio	30	2464,50	148,00	2490,84
julio	31	2385,00	148,00	2490,84
agosto	31	2464,50	133,00	2238,39
septiembre	30	2385,00	139,00	2339,37
octubre	30	2464,50	150,00	2524,50
noviembre	30	2385,00	121,00	2036,43
diciembre	31	2464,50	117,00	1969,11
	<b>365</b>	<b>29017,50</b>	<b>1724,00</b>	<b>29014,92</b>
			<b>% de generacion</b>	<b>100%</b>

Tabla 20 Producción de energía con número de paneles ajustado  
Fuente: Elaboración propia, 2023

Con la finalidad de mantener un pequeño margen de crecimiento a mediano plazo, periodo en el que podría aumentar la carga animal y por ende el uso de equipos se podría hacer en horarios más extendidos o más equipos de forma simultánea, se analizará el proyecto pensando en la instalación de 43 unidades de panel solar que es el número de paneles sobredimensionado.

### 5.3.3.6. Angulo óptimo de inclinación

En el capítulo 3 se planteó la ecuación para calcular el ángulo óptimo de inclinación de los paneles a instalar sobre la cubierta de techo, la cual es:

$$Im = |\Phi| + 10^\circ$$

Donde:

$I_m$ : Es la inclinación máxima en grados

$\Phi$ : Es la latitud del lugar de la instalación.

La latitud según la ubicación del proyecto es  $10.2^\circ$  por lo que aplicando la ecuación anteriormente señalada:

$$I_m = /10.2^\circ/ + 10^\circ = 20.2^\circ \approx 20^\circ$$

Debido a los movimientos de rotación y traslación de la tierra, durante el año la inclinación del sol respecto a la tierra varia, esta variación es de aproximadamente  $23.5^\circ$  al norte y al sur del Ecuador, razón por la cual es muy difícil mantener una orientación en la cual los paneles reciban la radiación constante lo más perpendicularmente posible.

Gracias a los avances tecnológicos con los que se cuentan actualmente, existen sistemas de automatización con los que se logra seguimiento solar, el inconveniente principal de este tipo de sistemas es su elevado costo; por lo que, para los efectos de esta investigación, se realizarán dichos cálculos con el ángulo de inclinación óptimo del diseño que es el 20 grados dirigidos hacia el sur, esto por cuanto en que, Costa Rica se ubica en el hemisferio Norte, desde donde es posible observar el sol hacia el sur durante más días del año.

Es importante recalcar que al encontrarse el proyecto con la infraestructura ya construida, y cubiertas de techo instaladas, no será posible cumplir en todas las disposiciones de los techos con el ángulo de inclinación calculado.

#### **5.3.3.7. Área disponible para instalación**

Se dispone de un área para instalación de paneles solares de  $285.51 \text{ m}^2$  como se puede observar en la imagen 36. La planta solar del sistema se constará de 43 paneles con dimensiones  $2.28 \text{ m} \times 1.135 \text{ m}$ . Tomando en cuenta que el área total de los paneles es de  $111.3 \text{ m}^2$  y el área disponible es de  $285.1 \text{ m}^2$  se asegura que el sistema se ajusta sin inconvenientes al área disponible.



Imagen 36 Área disponible de instalación  
Fuente: Google Maps, 2023

### 5.3.3.8. Configuración de strings (Series)

La configuración de los strings se debe realizar paralelamente a la selección del tipo y potencia de inversor a utilizar, de manera que se defina de forma correcta la cantidad de paneles en cada string de acuerdo con el nivel de voltaje y corriente máximos que admita el inversor seleccionado.

Como se puede apreciar en la siguiente imagen, el panel seleccionado para este proyecto tiene un voltaje de circuito abierto o voltaje en vacío de 49.90 VDC y una corriente máxima de 13.11 A.

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC						
TYPE	JAM72S30 -525/MR/1500V	JAM72S30 -530/MR/1500V	JAM72S30 -535/MR/1500V	JAM72S30 -540/MR/1500V	JAM72S30 -545/MR/1500V	JAM72S30 -550/MR/1500V
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	525	530	535	540	545	550
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.15	49.30	49.45	49.60	49.75	49.90
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.15	41.31	41.47	41.64	41.80	41.96
Short Circuit Current(Isc) [A]	13.65	13.72	13.79	13.86	13.93	14.00
Maximum Power Current(Imp) [A]	12.76	12.83	12.90	12.97	13.04	13.11
Module Efficiency [%]	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3
Power Tolerance	0--+5W					
Temperature Coefficient of Isc( $\alpha_{Isc}$ )	+0.045%/°C					
Temperature Coefficient of Voc( $\beta_{Voc}$ )	-0.275%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax( $\gamma_{Pmp}$ )	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , cell temperature 25°C, AM1.5G					
Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types. Measurement tolerance at STC: Pmax ±3%, Voc ±3% and Isc ±4%.						

Imagen 37 Ficha técnica de panel solar  
Fuente: JAsolar, s.f.

Una vez están claros los parámetros eléctricos del panel seleccionado, se procede a la selección del inversor más apropiado y que soporte tanto voltajes como corrientes de los lazos a diseñar.

Basados en los parámetros establecidos en esta sección, se seleccionó el inversor de la marca Solís modelo 5S-GR1P-8K, equipo del cual en la siguiente imagen se pueden identificar sus datos técnicos.

Tabla de datos		5S-GR1P(7-10)K			
Modelo	7K	8K	9K	10K	
<b>Entrada (CC)</b>					
Potencia de entrada máxima recomendada	8 kW	9.2 kW	10.8 kW	11.5 kW	
Voltaje máxima de entrada	600 V				
Voltaje de nominal	330 V				
Voltaje de arranque	120 V				
Rango de voltaje MPPT	100-500 V				
Corriente máxima de entrada	14 A / 14 A / 14 A				
Corriente máxima de cortocircuito	22 A / 22 A / 22 A				
Número de MPPT/Número máxima de cadenas de entrada	3/3				
<b>Salida (CA)</b>					
Potencia nominal de salida	7 kW	8 kW	9 kW	10 kW	
Potencia máxima de salida aparente	7 kVA	8 kVA	9 kVA	10 kVA	
Potencia máxima de salida	7 kW	8 kW	9 kW	10 kW	
Voltaje nominal de la red	1/N/PE, 220 V				
Frecuencia nominal de la red	60 Hz				
Corriente nominal de salida de red	31.8 A	36.4 A	40.9 A	45.5 A	
Corriente máxima de salida	33.7 A	36.6 A	41.3 A	45.9 A	
Factor de potencia	>0.99 (0.8 que lleva a 0.8 de retraso)				
THDi	<3%				
<b>Eficiencia</b>					
Eficiencia máxima	98.0%				

Imagen 38 Datos técnicos de inversor seleccionado  
Fuente: Solís, s.f.

De acuerdo con los datos mostrados en la imagen 37 el inversor seleccionado tiene una potencia en DC de 9.2Kw, un voltaje máximo de entrada DC de 600V y una corriente máxima de entrada de 14 amperios.

En los datos de salida del inversor especificado muestra un voltaje de salida monofásico de 220 VAC con neutro y tierra, y una potencia de salida de 8 kW, por lo tanto, para producir la energía requerida en el proyecto utilizaremos 3 unidades de inversor Solís 5S-GR1P-8K y permitirá configurar los strings de la siguiente manera:

Se tiene un total de 43 unidades de paneles fotovoltaicos que al dividirlos entre los 3 inversores da como resultado un total de 14.3 paneles por cada inversor, esto resulta en la decisión de construir 2 strings de 7 paneles solares para inversor 1 y 2 y un string de 7 paneles y 1 de 8 para el inversor 3.

En la siguiente tabla se muestran los detalles de cada inversor y cada string con sus variables eléctricas.

Inversor 1	# Paneles	VDC (V)	IDC (A)
String 1	7	349,3	13,11
String 2	7	349,3	13,11
Inversor 2	# Paneles	VDC (V)	IDC (A)
String 1	7	349,3	13,11
String 2	7	349,3	13,11
Inversor 3	# Paneles	VDC (V)	IDC (A)
String 1	7	349,3	13,11
String 2	8	399,2	13,11
Total paneles instalados		43	

Tabla 21 Distribución de paneles por string y strings por inversor  
Fuente: Elaboración propia, 2023

Como se muestra en la tabla 21 todos los valores de voltaje de los strings son de 349.3VDC para los strings de 7 paneles y de 399.2 VDC para el string de 8 paneles, estando todos por debajo del voltaje máximo de entrada (ver imagen 37). permisible por el inversor que es de 600VDC.

En la siguiente imagen se muestra un esquema de conexionado de un inversor típico con 2 strings y 14 paneles fotovoltaicos.

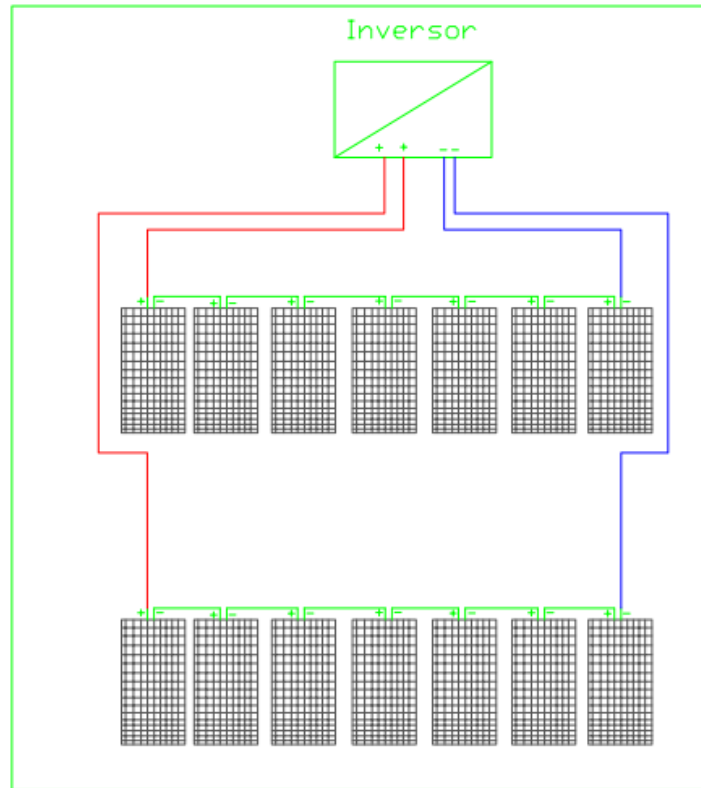


Imagen 39 Diagrama de conexión de paneles e inversor  
Fuente: Elaboración propia, 2023

#### 5.4 Estimación de presupuestos a las propuestas 1 y 2

Es importante aclarar que las estimaciones de presupuestos y costos de energía se realizan en moneda local, colones, esto debido a que nuestro proveedor de materiales y servicios así lo prefiere, basado en las fluctuaciones abruptas que esta presentado en tipo de cambio del dólar en el país, además de que los prestadores de servicios de energía (ICE-NCFL-ESPH, entre otros.) tienen sus tarifas en moneda local.

Sin embargo, el análisis financiero y estudio de factibilidad que ayudará a seleccionar la opción óptima como solución a la necesidad de suministro de energía eléctrica para una unidad habitacional y un sistema de confinamiento se realiza en moneda extranjera, dólar, por cuanto que, en las entidades financieras del mercado local ofrecen mejores condiciones para créditos en esta moneda, por lo que más adelante en el análisis financiero se realizan los cálculos en dólares.

### 5.4.1. Inversión de la Propuesta 1: Booster de transformadores para la totalidad de la carga

A continuación, en la imagen 40 se muestra un diagrama unifilar eléctrico y detalle de acometidas para un mejor entender del alcance de esta inversión:

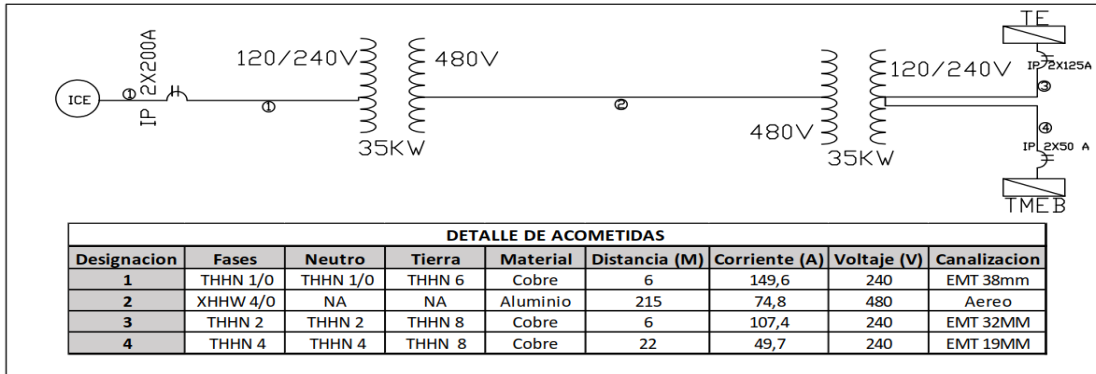


Imagen 40 Diagrama Unifilar Booster 100% carga  
Fuente: Elaboración propia, 2023

La implementación del sistema de booster para la alimentación del 100% de las cargas, es decir, sistema de confinamiento y casa de habitación se determinó mediante la cotización llave en mano con alcance según el diagrama unifilar de la imagen 40 del proyecto con el proveedor Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica Especializada Ltda. (la oferta completa se encuentra en el anexo 2), de cuya oferta se obtuvieron los montos ofertados en la siguiente imagen:

**4. PRECIO COTIZADO**  
El monto del alcance del presupuesto es:

DESCRIPCION	QTY	UNIDAD	UNITARIO	TOTAL
Transformador tipo poste 120/240 - 480, Monofasico, 37,5KVA	2	ud	€ 1 510 000,00	€ 3 020 000,00
Acometida ICE - Tx-1 3#2/0 + 1#2 EMT 50mm	6	ml	€ 75 450,00	€ 452 700,00
Interruptor termomagnético 2x200A VVC2200 EATON en caja moldeada Nema 3R	1	ud	€ 248 854,00	€ 248 854,00
Acometida Tx-1 - Tx-2 XHHW-2 AL 4/0	215	ml	€ 2 350,00	€ 505 250,00
Acometida Tx-2 - Tablero Confinamiento 3#2 +1#8 EMT 19MM	6	ml	€ 29 967,00	€ 179 802,00
Acometida Tx-2 - Tablero Vivienda 3#4 + 1#8 EMT 19mm	22	ml	€ 20 622,00	€ 453 684,00
Base de concreto para poste, colado en sitio,	12	ud	€ 37 850,00	€ 454 200,00
Poste de metal 3"x3"x1,8mm x6m galvanizado	12	ud	€ 24 525,00	€ 294 300,00
Ancla y tensoras para poste con transformador	6	ud	€ 84 685,00	€ 508 110,00
Aislador de porcelana para 600 VAC	12	ud	€ 68 985,00	€ 827 820,00
Centro de Carga "TE" barras 125A, IP 2x125A, 20 espacios, parche.	1	ud	€ 110 000,00	€ 110 000,00
centro de carga "TMEB", barras 100A, IP 2x100A, 16 espacios, parche,	1	ud	€ 71 000,00	€ 71 000,00
Material vario (Tape, tornillería, etiquetado, terminales, etc)	1	gbl	€ 185 000,00	€ 185 000,00
			Sub total	€ 7 310 720,00
			Inspeccion	€ 584 857,60
			Administracion	€ 1 096 608,00
			subtotal	€ 8 992 185,60
			IVA	€ 1 168 984,13
			TOTAL	€ 10 161 169,73

Imagen 41 Cuadro de costos Booster 100% carga

Fuente: Oferta 2102002301V1 Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica Especializada Ltda

De la imagen 41, se define el monto de inversión para la construcción del sistema de booster de transformadores de 37.5kVA, iniciando en la base del medidor existente y terminando en los centros de carga de cada una de las edificaciones es de  $\text{¢ } 10\,161\,169,73$ .

**5.4.2. Inversión de la Propuesta 2: Sistema fotovoltaico combinado con una acometida independiente para una unidad habitacional**

En la imagen 42 se muestra el diagrama unifilar eléctrico para esta acometida, así como también el detalle de su cableado, esto para una mayor facilidad de comprensión del alcance de esta inversión.

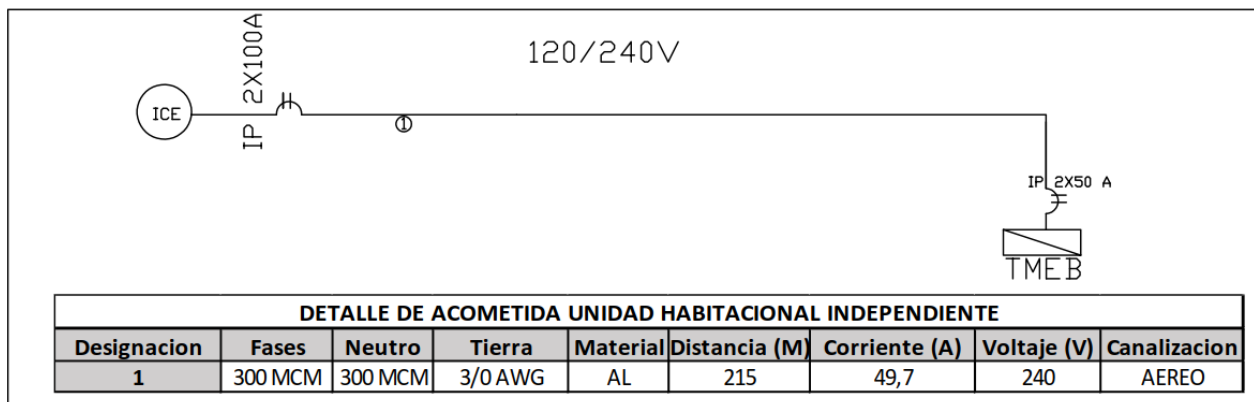


Imagen 42 Detalle de acometida unidad habitacional independiente

Fuente: Elaboración propia, 2023

Se determina el monto de inversión de esta opción de acometida independiente para la unidad habitacional, mediante el proveedor Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica Especializada Ltda., a continuación, una imagen extracto de la oferta número 2202002302V01 con fecha 22 de febrero de 2023.

**4. PRECIO COTIZADO**  
El monto del alcance del presupuesto es:

OFERTA ROJAS RUIZ ACOMETIDA INDEPENDIENTE PARA CASA HABITACION				
DESCRIPCION	QTY	UNIDAD	UNITARIO	TOTAL
Acometida ICE - TMEB 3#300mcm XHHW-2 +1 3/0 AWG XHHW-2 ALUMINIO ( AEREO)	215	ud	€ 12 600,00	€ 2 709 000,00
Interruptor caja moldeada CC2100 2p 240v CCV2100 EATON + CAJA MOLDEADA NEMA 3R	1	ud	€ 321 402,00	€ 321 402,00
Base de concreto para poste, colado en sitio,	15	ud	€ 37 850,00	€ 567 750,00
Poste de metal 3"x3"x1,8mm x6m galvanizado	15	ud	€ 24 525,00	€ 367 875,00
Ancla y tensoras para poste inicio y final	6	ud	€ 84 685,00	€ 508 110,00
Crucero galvanizado 3x3 x 1/4 en 1,5 m	15	ud	€ 52 465,00	€ 786 975,00
Herrajes para poste y aisladores de lineas	1	gbl	€ 712 500,00	€ 712 500,00
centro de carga "TMEB", barras 100A, IP 2x100A, 16 espacios, parche,	1	ud	€ 71 000,00	€ 71 000,00
Material vario (Tape, tornillería, etiquetado, terminales, etc)	1	gbl	€ 185 000,00	€ 185 000,00
			Sub total	€ 6 229 612,00
			Inspeccion	€ 498 368,96
			Administracion	€ 934 441,80
			subtotal	€ 7 662 422,76
			IVA	€ 996 114,96
			TOTAL	€ 8 658 537,72

Imagen 43 Cuadro de costos acometida unidad habitacional independiente  
Fuente: Oferta 2202002302V01 Rojas Ruiz Ingeniería Especializada Ltda.

De la imagen 43 se define el costo de implementación de acometida independiente para unidad habitacional en un monto de € 8 658 537,72 con 72/100, la oferta completa se encuentra en el anexo 3.

La siguiente imagen muestra la cotización para los implementos de sistema fotovoltaico, emitida por la empresa Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica Especializada Ltda., la oferta completa se encuentra en el anexo 4:

OFERTA SISTEMA FOTOVOLTAICO				
DESCRIPCION	QTY	UNIDAD	UNITARIO	TOTAL
PANEL SOLAR JKMS30-550M-72HL4 550w	43	UD	€ 98 671,60	€ 4 242 878,80
INVERSOR SOLID BKW	3	UD	€ 621 500,00	€ 1 864 500,00
MINI RIEL	86	UD	€ 1 130,00	€ 97 180,00
END CLAMP	86	UD	€ 1 130,00	€ 97 180,00
MID CLAMP	86	UD	€ 1 130,00	€ 97 180,00
GROUNDING LUG	32	UD	€ 1 130,00	€ 36 160,00
CABLEADO DC #12 ROJO	43	M	€ 463,30	€ 19 921,90
CABLEADO DC #12 NEGRO	43	M	€ 463,30	€ 19 921,90
CONECTOR MC4	50	UD	€ 791,00	€ 39 550,00
MANO DE OBRA DE INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA	1	GBL	€ 1 412 500,00	€ 1 412 500,00
			Sub total	€ 7 926 972,60
			Administracion	€ 634 157,81
			subtotal	€ 8 561 130,41
			IVA	€ 1 112 946,95
			TOTAL	€ 9 674 077,36

Imagen 44 Resumen de costos de inversión  
Fuente: Oferta N° 2202002305V1, 2023

De la imagen 44 se determina el valor de la inversión para la implementación del sistema fotovoltaico aislado para el sistema de confinamiento, cuyo monto asciende a € 26 011 436,44 colones, este monto se determinó con base en los equipos y mano de obra.

## 5.5 Evaluación técnica y financiera de las propuestas solución

### 5.5.1. Comparación de escenarios en el ámbito de inversión

#### 5.5.1.1. Escenario 1, Booster de transformadores para el 100% de las cargas del sistema de confinamiento y la unidad de unidad habitacional

En este escenario se toma en cuenta la inversión necesaria para la compra, instalación y puesta en marcha del sistema de booster de transformadores cuyo monto asciende a ¢ 10 161 169,73 y para cuya inversión se requiere de apalancamiento, este escenario consiste en la adquisición e instalación de dos transformadores de 37.5 kW, uno de ellos elevador de 120/240V a 480VAC monofásico y el otro reductor de 480VAC monofásico a 120/240 VAC monofásico, acometidas, posteo y centro de carga.

#### 5.5.1.2. Escenario 2, Acometida independiente para casa de habitación y sistema fotovoltaico aislado para sistema de confinamiento.

En este escenario se toman en cuenta dos inversiones, la primera la correspondiente a la inversión de la acometida para la unidad de unidad habitacional, la cual representa un costo fijo de instalación y puesta en servicio, monto que podemos ver en la imagen 43 y cuyo valor asciende a ¢ 8 658 537,72 y la segunda inversión correspondiente al sistema solar de 43 paneles solares de 550Wp cada uno y 3 inversores centrales de 8 kW cada uno, cuyo monto se refleja en la imagen 44 y cuyo valor asciende a ¢ 9 674 077,33. Por lo que se tiene una inversión inicial de ¢ 18 332 615,72.

La siguiente tabla corresponde a un resumen de costos de las inversiones de las diferentes opciones.

RESUMEN DE COSTOS POR OPCION EN DOLARES	
Opcion	Monto
Inversión sistema de booster para 100% de las cargas (opción 1).	\$ 14 896,17
Inversión acometida unidad habitacional dedicada (Opción 2).	
Inversión Sistema fotovoltaico aislado (Opcion 2).	\$ 32 447,11

Tabla 22 Resumen de costos de inversión  
Fuente: Elaboración Propia, 2023

Como se puede observar de la tabla anterior, ambas inversiones se encuentran en dólares, debido a que los sistemas solares a la hora de ser cotizados se establecen en dólares. Adicionalmente, mediante esta comparación, se determinó que, a nivel de inversión, la Propuesta 1: Booster de transformadores para la totalidad de la carga, requiere una inversión de \$17 551 menos que si se implementara la Propuesta 2: Sistema fotovoltaico combinado con una acometida, por lo tanto, la opción más rentable en cuanto a inversión es la 1.

## 5.5.2. Comparación de escenarios en el ámbito financiero

### 5.5.2.1 Escenario 1, booster de transformadores para alimentación de casa de habitación y sistema de confinamiento

Bajo este escenario no se cuenta con un ahorro real en la factura eléctrica mensual, por lo que lo único que plantea es la solución al problema de la caída de tensión con un transporte de la energía a un voltaje mayor, y se pretende una inversión inicial eficiente, logrando costos de conductores de acometida eléctrica bajos, bajo este escenario, se tiene que, el costo de la energía mensual “Facturación” para la unidad habitacional y el sistema de confinamiento, el valor del kWh estimado es de ¢ 105,32, valor promedio de los costos mostrados en la imagen 45.

En la tabla 23 se muestran los costos mensuales de facturación, mismos que representa únicamente el gasto por el costo de la energía requerida por la unidad habitacional y el sistema de confinamiento y en la tabla 24 se muestran los valores proyectados a 20 años y suponiendo un aumento en el costo de esta de un 5% anual durante todo el plazo.

Detalle	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Energía consumida (kWh) Confinamiento	2937,33	2937,33	3554,60	3448,17	3469,46	3150,18
Energía Consumida en kWh unidad de vivienda	3486,74	3486,74	3486,74	3486,74	3486,74	3486,74
Total energía consumida	¢ 6 424,07	¢ 6 424,07	¢ 7 041,34	¢ 6 934,91	¢ 6 956,20	¢ 6 636,92
Facturación	¢ 676 583,17	¢ 676 583,17	¢ 741 593,52	¢ 730 384,84	¢ 732 626,58	¢ 699 000,54
Detalle	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía consumida (KWh)	3150,18	2830,91	2958,62	3192,75	2575,49	2490,35
Energía Consumida en kWh unidad de vivienda	3486,74	3486,74	3486,74	3486,74	3486,74	3486,74
Total energía consumida	¢ 6 636,92	¢ 6 317,65	¢ 6 445,36	¢ 6 679,49	¢ 6 062,23	¢ 5 977,09
Facturación	¢ 699 000,54	¢ 665 374,49	¢ 678 824,91	¢ 703 484,01	¢ 638 473,66	¢ 629 506,71

Tabla 23 Detalle de costo de energía mensual bajo escenario 1

Fuente: Elaboración propia, 2023

Año	Diferencia de flujos	Valor presente	Valor acumulado
Inv. Inicial	-\$ 15 097,61	-\$ 15 097,61	-\$ 15 097,61
1	-\$ 345,13	-\$ 332,63	-\$ 15 430,23
2	-\$ 362,39	-\$ 336,60	-\$ 15 766,84
4	-\$ 380,51	-\$ 340,62	-\$ 16 107,46
3	-\$ 399,53	-\$ 344,69	-\$ 16 452,15
5	-\$ 419,51	-\$ 348,81	-\$ 16 800,97
6	-\$ 440,49	-\$ 352,98	-\$ 17 153,95
7	-\$ 462,51	-\$ 357,20	-\$ 17 511,15
8	-\$ 485,64	-\$ 361,47	-\$ 17 872,62
9	-\$ 509,92	-\$ 365,79	-\$ 18 238,41
10	-\$ 535,41	-\$ 370,16	-\$ 18 608,57
11	-\$ 562,18	-\$ 374,58	-\$ 18 983,15
12	-\$ 590,29	-\$ 379,06	-\$ 19 362,21
13	-\$ 619,81	-\$ 383,59	-\$ 19 745,80
14	-\$ 650,80	-\$ 388,18	-\$ 20 133,98
15	-\$ 683,34	-\$ 392,81	-\$ 20 526,79
16	-\$ 717,51	-\$ 397,51	-\$ 20 924,30
17	-\$ 753,38	-\$ 402,26	-\$ 21 326,56
18	-\$ 791,05	-\$ 407,07	-\$ 21 733,63
19	-\$ 830,60	-\$ 411,93	-\$ 22 145,56
20	-\$ 872,13	-\$ 416,85	-\$ 22 562,41

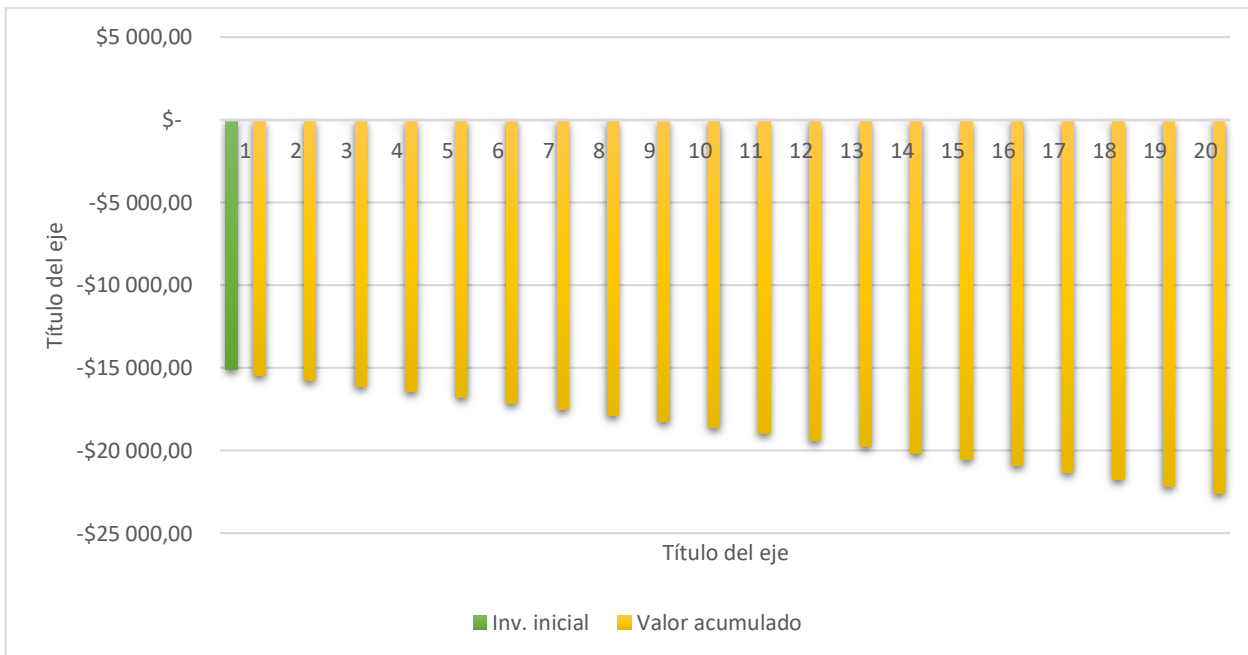
Tabla 24 Retorno de inversión escenario 1

Fuente: Elaboración propia, 2023

Como es evidente este escenario únicamente representara un gasto, tanto en la inversión inicial, como en el pago de la energía consumida a lo largo del tiempo, no teniendo la inversión un tiempo de recuperación.

Para este escenario se omiten los cálculos de TIR y VAN, puesto que de antemano se tiene certeza de que sus resultados nunca serán favorables, es decir, estos indicadores son flujos negativos.

En la siguiente grafica se evidencia que a lo largo del tiempo la inversión no podrá ser reembolsada, al contrario, lo que se produce es un acumulado de gasto que se va incrementando año con año.



Gráfica 1 Retorno de inversión escenario 1  
 Fuente: Elaboración propia, 2023

**5.5.2.2. Escenario 2, Acometida independiente para unidad de unidad habitacional y sistema fotovoltaico aislado de la red para sistema de confinamiento**

En primera instancia se analiza el retorno de la inversión del sistema solar aislado haciendo la comparación económica entre el costo anual de la energía con instalación de sistema fotovoltaico y sin instalación del sistema fotovoltaico.

Para el cálculo de los montos por concepto de energía se utiliza el precio promedio del kWh en tarifa residencial horaria tomado de la página web de la ARESEP, en la siguiente imagen se reflejan los precios vigentes. (El documento completo se puede ver en anexo 5)

Residencial horaria											
T-REH											
Periodo Noche	72.37	72.37	72.37	-	-	-	-	-	-	-	-
Periodo Punta	144.39	144.39	144.39	-	-	-	-	-	-	-	-
Periodo Valle	99.21	99.21	99.21	-	-	-	-	-	-	-	-

Imagen 45 Tarifa residencial horaria  
 Fuente: ARESEP, s.f.

En base a los valores mostrados en la imagen 45, se calcula el valor promedio del kWh realizando la sumatoria de los valores de los tres horarios y dividiendo su resultado entre 3, de la siguiente manera:

$$\text{¢ } kwh = \frac{\text{¢}72.37 + \text{¢}144.39 + \text{¢}99.21}{3}$$

$$\text{¢ } kwh = \text{¢ } 105.32$$

Con este precio promedio del kWh y el consumo mensual reflejado en la tabla 25, se realiza el cálculo del valor económico de la energía necesaria para la operación del sistema de confinamiento y de la energía consumida, que para el caso en estudio son ambos valores los mismos, puesto que se trata de un sistema aislado de la red, en la tabla 25 se pueden ver reflejados los montos de cada mes durante un año completo.

Detalle	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Energía generada (KWh)	2937,33	2937,33	3554,60	3448,17	3469,46	3150,18
Energía consumida (KWh)	2937,33	2937,33	3554,60	3448,17	3469,46	3150,18
Facturación con paneles	¢ -	¢ -	¢ -	¢ -	¢ -	¢ -
Facturación sin paneles	¢ 259 561,14	¢ 242 815,26	¢ 251 188,20	¢ 259 561,14	¢ 251 188,20	¢ 259 561,14
Detalle	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía generada (KWh)	3150,18	2830,91	2958,62	3192,75	2575,49	2490,35
Energía consumida (KWh)	3150,18	2830,91	2958,62	3192,75	2575,49	2490,35
Facturación con paneles	¢ -	¢ -	¢ -	¢ -	¢ -	¢ -
Facturación sin paneles	¢ 251 188,20	¢ 259 561,14	¢ 251 188,20	¢ 259 561,14	¢ 251 188,20	¢ 259 561,14

Tabla 25 Cálculo económico de energía producida y consumida sistema solar aislado para confinamiento

Fuente: Elaboración propia, 2023

Para una buena toma de decisión es necesario evaluar la inversión inicial financieramente, de manera que se pueda determinar la viabilidad o no de realizar la inversión, para ello se deben realizar los cálculos del Valor Actual Neto y de la Tasa Interna de Retorno, para esta inversión se tiene como base económica el costo de oportunidad del dinero a invertir, por lo que se evalúa el retorno de la inversión con una tasa de interés correspondiente al rendimiento que podría generar ese mismo monto de dinero en un certificado a plazo en dólares en una entidad financiera nacional, en la siguiente imagen se muestra la tasa de 3.76% para plazos mayores a 800 días en certificados en moneda dólar.

## TASA NOMINAL

Plazo en días	Físico negociable en Bolsa	Bancobcr y Desmaterializado-negociable BCR
1-6	N/A	0,01%
7-13	N/A	0,01%
14-20	N/A	0,05%
21-29	N/A	0,07%
30-59	0,11%	0,16%
60-89	0,16%	0,21%
90-119	0,46%	0,51%
120-149	0,71%	0,76%
150-179	1,01%	1,06%
180-209	1,31%	1,36%
210-239	1,52%	1,57%
240-269	1,61%	1,66%
270-299	1,86%	1,91%
300-329	1,86%	1,91%
330-359	1,86%	1,91%
360-539	2,03%	2,08%
540-719	2,66%	2,71%
720-1079	2,81%	2,86%
1080-1439	3,31%	3,36%
1440-1799	3,56%	3,61%
De 1800	3,71%	3,76%

Rigen a partir del 22-Febrero-2023

### Imagen 46 Condiciones financieras de inversión

Fuente: Banco de Costa Rica, 2023

A continuación, en la tabla 26, se detalla el cuadro de costo de energía anual para este escenario, es decir el costo de la energía que se debe bajar de la red pública a un precio de  $\text{¢}105,32 / \text{kWh}$  para la unidad de unidad habitacional y un sistema de confinamiento, a este costo anual se le aplica un crédito correspondiente a la energía que se produce por el sistema fotovoltaico y se reflejara como un ahorro económico anual y un ahorro acumulado a lo largo del plazo de 20 años.

Año	Flujo sin paneles	Flujo con paneles	Ahorro anual	Acumulado Anual
1	\$ 10 788,74	\$ 8 149,44	\$ 2 639,30	\$ 2 639,30
2	\$ 11 328,17	\$ 8 556,91	\$ 2 771,26	\$ 5 410,56
3	\$ 11 894,58	\$ 8 984,76	\$ 2 909,82	\$ 8 320,38
4	\$ 12 489,31	\$ 9 433,99	\$ 3 055,32	\$ 11 375,70
5	\$ 13 113,78	\$ 9 905,69	\$ 3 208,08	\$ 14 583,78
6	\$ 13 769,46	\$ 10 400,98	\$ 3 368,49	\$ 17 952,27
7	\$ 14 457,94	\$ 10 921,03	\$ 3 536,91	\$ 21 489,18
8	\$ 15 180,83	\$ 11 467,08	\$ 3 713,76	\$ 25 202,93
9	\$ 15 939,88	\$ 12 040,43	\$ 3 899,44	\$ 29 102,37
10	\$ 16 736,87	\$ 12 642,45	\$ 4 094,42	\$ 33 196,79
11	\$ 17 573,71	\$ 13 274,58	\$ 4 299,14	\$ 37 495,93
12	\$ 18 452,40	\$ 13 938,31	\$ 4 514,09	\$ 42 010,02
13	\$ 19 375,02	\$ 14 635,22	\$ 4 739,80	\$ 46 749,82
14	\$ 20 343,77	\$ 15 366,98	\$ 4 976,79	\$ 51 726,60
15	\$ 21 360,96	\$ 16 135,33	\$ 5 225,63	\$ 56 952,23
16	\$ 22 429,01	\$ 16 942,10	\$ 5 486,91	\$ 62 439,14
17	\$ 23 550,46	\$ 17 789,20	\$ 5 761,25	\$ 68 200,39
18	\$ 24 727,98	\$ 18 678,66	\$ 6 049,32	\$ 74 249,71
19	\$ 25 964,38	\$ 19 612,60	\$ 6 351,78	\$ 80 601,49
20	\$ 27 262,60	\$ 20 593,23	\$ 6 669,37	\$ 87 270,86

Tabla 26 Resumen de costo de energía para el escenario 2

Fuente: Elaboración propia, 2023

Seguidamente en la tabla 27 se muestra el reflejo del retorno de inversión calculado para este escenario, cabe mencionar que se utiliza para estos cálculos una tasa de interés fina del 3.76% en dólares. Tasa de referencia del Banco de Costa Rica, como se puede observar en la imagen 47.

Año	Diferencia de flujos	Valor presente	Valor acumulado
Inv. Inicial	\$ -32 447,11	\$ -32 447,11	\$ -32 447,11
1	\$ 2 639,30	\$ 2 543,66	\$ -29 903,45
2	\$ 2 771,26	\$ 2 574,05	\$ -27 329,40
4	\$ 2 909,82	\$ 2 604,82	\$ -24 724,58
3	\$ 3 055,32	\$ 2 635,94	\$ -22 088,64
5	\$ 3 208,08	\$ 2 667,45	\$ -19 421,19
6	\$ 3 368,49	\$ 2 699,32	\$ -16 721,87
7	\$ 3 536,91	\$ 2 731,58	\$ -13 990,29
8	\$ 3 713,76	\$ 2 764,23	\$ -11 226,06
9	\$ 3 899,44	\$ 2 797,26	\$ -8 428,80
10	\$ 4 094,42	\$ 2 830,69	\$ -5 598,11
11	\$ 4 299,14	\$ 2 864,52	\$ -2 733,59
12	\$ 4 514,09	\$ 2 898,75	\$ 165,16
13	\$ 4 739,80	\$ 2 933,39	\$ 3 098,55
14	\$ 4 976,79	\$ 2 968,45	\$ 6 067,00
15	\$ 5 225,63	\$ 3 003,92	\$ 9 070,93
16	\$ 5 486,91	\$ 3 039,82	\$ 12 110,75
17	\$ 5 761,25	\$ 3 076,15	\$ 15 186,90
18	\$ 6 049,32	\$ 3 112,91	\$ 18 299,81
19	\$ 6 351,78	\$ 3 150,11	\$ 21 449,93
20	\$ 6 669,37	\$ 3 187,76	\$ 24 637,69

Tabla 27 retorno de inversión escenario 2

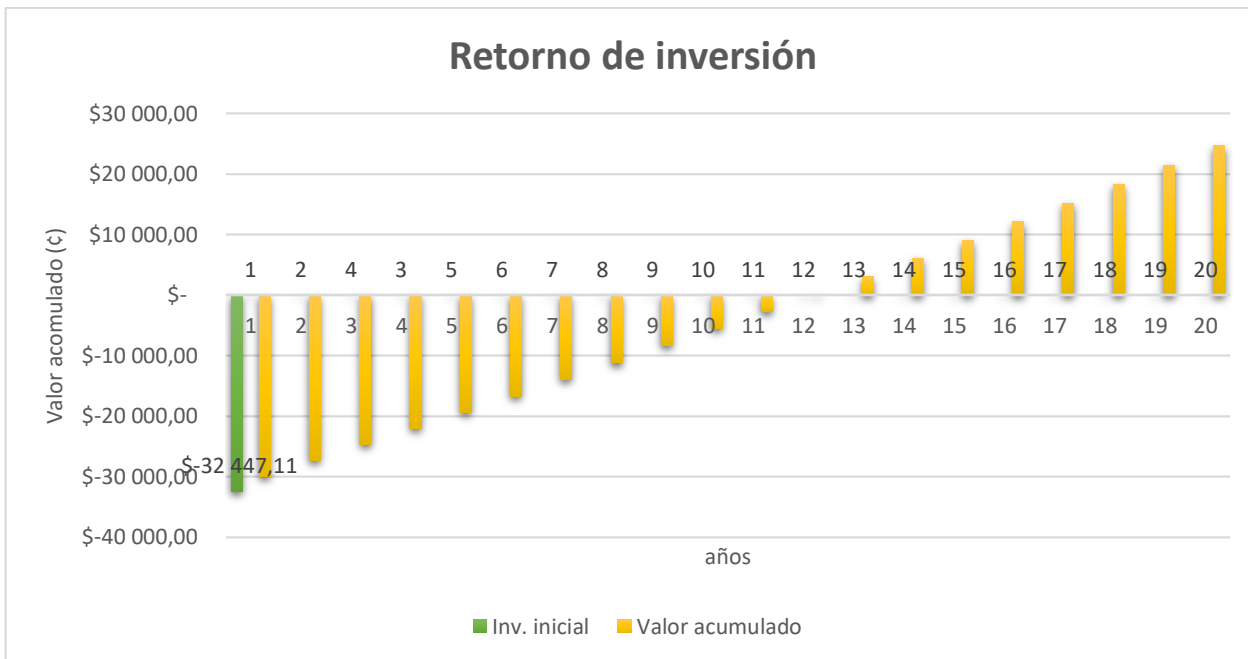
Fuente: elaboración propia, 2023

Como se puede observar el retorno de la inversión inicial se logra en el año 12 después de realizada. Los indicadores financieros que establecen la viabilidad o no de la realización de la inversión son la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN) de los montos de ahorro anual; a continuación, se muestran los resultados obtenidos para estos dos indicadores:

TIR: 9.82 %

VAN: \$ 24.637,69

En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento del retorno de la inversión para este escenario, como se mencionó anteriormente la recuperación de la inversión se logra a partir del año 12, lo que representa un escenario favorable para realizar la inversión.



Gráfica 2 Retorno de inversión  
Fuente: Elaboración propia, 2023

### 5.5.3. Comparación de escenarios en el ámbito técnico

Para la comparación técnica de la implementación de los escenarios 1 y 2 se tiene el siguiente resumen:

COMPARATIVO DE ESCENARIOS			
Escenarios	Descripción	Ahorro x energía	Apalancamiento
1	Boster de transformadores para 100% de las cargas	Toda la energía se toma del proveedor ICE	SI
2	Acometida independiente para unidad habitacional y sistema fotovoltaico aislado	-La energía del sistema de confinamiento se produce con paneles solares La energía de la unidad de vivienda se toma del proveedor IC	SI

Tabla 28 Comparativo técnico de escenarios  
Fuente: Elaboración propia, 2023

En el presente apartado, se ha desarrollado todo el proceso de la conformación técnica de ambas soluciones. Las dos propuestas son técnicamente viables, dado que, en ambas se logra corregir la caída de voltaje del sistema, por lo tanto, el determinar cuál es la solución más oportuna para el sistema dependerá de la comparación de la inversión y del retorno de esta.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

Al realizar la investigación y evaluación de las condiciones del suministro eléctrico de la propiedad en estudio, se logró determinar que esta no cumplía con las normas técnico-legales aplicables en Costa Rica para una unidad de unidad habitacional y sistema de confinamiento.

El nivel de caída de tensión es muy elevado, lo que podría resultar en daños en los equipos eléctricos necesarios para la operación del sistema tales como: arranque y operación de motores, bombas, iluminación, entre otros.

Al realizar la investigación de la normativa aplicable a los sistemas de baja tensión y a los sistemas de generación fotovoltaica en Costa Rica, se encontró que estas normativas son: Código Eléctrico NEC2014 y ARNT-POASEN2015.

Al realizar el análisis de las necesidades energéticas de la propiedad en estudio, la determinación de cargas y los factores de demanda, se determinó que las propuestas de solución viables para el proyecto son un sistema de Booster de transformadores para la totalidad de carga y un sistema fotovoltaico aislado para confinamiento, combinado con una acometida independiente para una unidad habitacional, debido a que ambas opciones logran corregir la caída de voltaje del sistema.

Con respecto al análisis de inversión se encontró que la propuesta del sistema de Booster de transformadores para la totalidad de carga conlleva una inversión de ₡ 10 161 169,73 y, la propuesta del sistema fotovoltaico aislado para confinamiento, combinado con una acometida independiente para una unidad habitacional, conlleva una inversión de ₡ 26 011 436,44, por lo tanto, en el ámbito de inversiones, la propuesta óptima es la del sistema de Booster.

Con respecto al análisis de retorno de inversión, se encontró que la propuesta del sistema de Booster no genera un retorno de inversión, dado que, su implementación no representa ningún tipo de ahorro económico en pago de energía consumida. Por otro lado, este sistema, tampoco representa ningún beneficio ambiental para la propiedad en estudio.

En cuanto a la propuesta del sistema fotovoltaico, aunque su inversión es un 39% mayor a la otra propuesta, ésta sí genera un ahorro en la factura eléctrica mensual y un retorno de inversión de 12 años, tomando en cuenta que el equipo con menor plazo de garantía es el inversor (15 años). Adicionalmente, esta propuesta genera un impacto ambiental favorable debido a que se basa en un sistema de energía limpia y renovable, aunado a esto, la producción ganadera de la propiedad en estudio tendría el valor agregado de tratarse y desarrollarse con este tipo de sistema.

Con respecto al análisis técnico, las dos propuestas son técnicamente viables, dado que, en ambas se logra corregir la caída de voltaje del sistema, por lo tanto, el determinar cuál es la solución óptima para el sistema dependió de la comparación de la inversión y del retorno de esta.

Como conclusión, se tiene que la propuesta que representa la solución técnica y económica óptima para la propiedad en estudio es la implementación del sistema fotovoltaico aislado para confinamiento, combinado con una acometida independiente para una unidad habitacional.

## **6.2 Recomendaciones**

A partir de las conclusiones de esta investigación, se recomienda implementar la propuesta del sistema fotovoltaico aislado para confinamiento, combinado con una acometida independiente para una unidad habitacional, dado que se determinó que es una propuesta óptima tanto económica como técnica para las necesidades de la propiedad en estudio.

Al tratarse de una explotación intensiva con animales vivos en desarrollo y engorde, y aprovechando que las excretas de los animales se concentran en un área determinada, se recomienda investigar y ahondar en términos, técnicos, económicos y ambientales, sobre la producción de energía mediante el biogás que se puede obtener de estos desechos, este biogás podría ser utilizado como combustible para el funcionamiento de un generador eléctrico que brinde una solución a la necesidad de energía del proyecto y de la unidad habitacional.

Se recomienda revisar la metodología sugerida en el anexo 3 del código de instalaciones subterráneas para el cálculo de potencia de transformadores, con el fin de evaluar si se obtiene o no una mejora en las condiciones económicas de la inversión.

Se recomienda proponer una fuente de energía de respaldo mediante un generador estacionario de combustión a diésel, gas licuado de petróleo o biogás, de tal forma que durante periodos de temporal o fallas inesperadas en el sistema fotovoltaico, la operación del confinamiento no se vea afectada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrofy. (s.f.). Maquinaria agrícola. Consultada el 10 de febrero de 2023. <https://www.agrofy.com.ar/mixer-induher-rmr-4000.html>
- Aitec. (s.f.). Bomba purinera. Consultada el 10 de febrero de 2023. <https://aitec.cl/inicio/351-bomba-purinera-doda-afi-l35pd-eje-libre.html>
- Área tecnología. (s.f.). Magnitudes eléctricas. Consultada el 09 de febrero de 2023. <https://www.areatecnologia.com/Magnitudes-electricas.htm>
- Área tecnología. (s.f.). Puesta en tierra. Consultada el 09 de febrero de 2023. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/puesta-a-tierra.html>
- ARESEP. s.f. Tarifas históricas y presentes de electricidad. Consultada el 11 de marzo de 2023. [https://aresep-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/multimedia\\_aresep\\_go\\_cr/ET6L4k-QyphAgLpEwSYeNegBbLvOGM7mF0n2vZxId\\_SGeQ?rttime=0CtHUEUj20g](https://aresep-my.sharepoint.com/:x:/g/personal/multimedia_aresep_go_cr/ET6L4k-QyphAgLpEwSYeNegBbLvOGM7mF0n2vZxId_SGeQ?rttime=0CtHUEUj20g)
- ARESEP. (2014). Supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión. <https://aresep.go.cr/normativa/1392-normativa-tecnica-nacional>
- ARESEP. (2015). Planeación, Operación y Acceso al Sistema Eléctrico Nacional. <https://aresep.go.cr/normativa/1392-normativa-tecnica-nacional>
- Banco de Costa Rica, s.f. Tasas de interés para CDPs. Consultada el 11 de marzo de 2023. [https://www.bancobcr.com/wps/portal/bcr/bancobcr/personas/inversiones/certificados\\_de\\_deposito\\_a\\_plazo/tasas\\_de\\_interes\\_para\\_cdps/](https://www.bancobcr.com/wps/portal/bcr/bancobcr/personas/inversiones/certificados_de_deposito_a_plazo/tasas_de_interes_para_cdps/)
- Bobinados. (sf.). Fábrica de transformadores eléctricos, Bogotá Colombia. Consultada 03 de febrero de 2023. <https://bobinadosjr.com/>

- Bonilla R. (2014). Diseño eléctrico para una estación de bomberos. Seminario de graduación para optar por el grado de Bachiller en Ingeniería Electromecánica de la Universidad Internacional de las Américas de Costa Rica. [https://www.academia.edu/9218642/Tesis\\_Roberto\\_Bonilla](https://www.academia.edu/9218642/Tesis_Roberto_Bonilla)
- Cáceres A. Estrada E. (2018). Estudio de prefactibilidad de implementación de paneles solares para la electrificación de las oficinas de la empresa Electromecánica Especializada ubicado en el barrio Costa Rica de la ciudad de Managua. Tesina para optar al título de Maestría en Gerencia de Proyectos de Desarrollo de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua. <https://core.ac.uk/download/pdf/336876682.pdf>
- Carrasco E. (2008). Instalaciones eléctricas de baja tensión en edificios de unidad habitacional. Editorial Tebar, 2da edición, Madrid, España.
- Castellano J. Gebrikian F. (2012). Energías renovables y generación sistribuida en el ámbito rural del Partido General Pueyrredon. Proyecto final de carrera de la Universidad Nacional de Mar de Plata de Argentina. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/handle/123456789/374?show=full>
- Chapman S. (2012). Máquinas Eléctricas. Editorial Mc Graw Hill, 5ta edición, México. <https://ia803201.us.archive.org/8/items/266539159MaquinasElectricasChapman5taEdicionPdf/266539159-Maquinas-electricas-Chapman-5ta-edicion-pdf.pdf>
- CPM Solar. (s.f.). La corriente continua. Consultada el 09 de febrero de 2023. <https://cpmsolar.com/2019/09/16/la-corriente-continua-cc-vs-ca/>
- De máquinas y herramientas. (s.f.). ¿Cómo funcionan los transformadores eléctricos? Consultada el 09 de febrero de 2023. <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/transformadores-electricos>
- Díaz, A. y Aguilera, V. (2013). Matemáticas financieras. Mc Graw Hill 4ta edición. México.

Electricaplicada. S.f. Caída de tensión, tabla, Norma, acometidas, alimentadores y ramales. Consultada el 19 de febrero de 2023. <https://www.electricaplicada.com/maxima-caida-de-tension-cables/>

Elizondo K. (2018). Rediseño de la Instalación Eléctrica de la Planta de Envases Comeca S.A. Informe de Práctica de Especialidad para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial de Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10083>

Equipmaster.co. (s.f.) Picapastos, fundamentales en las actividades agropecuarias. Consultado el 03 de febrero de 2023. <https://equipmaster.com.co/picapastos-fundamentales-para-la-produccion-agropecuaria/#:~:text=Picapastos%2C%20fundamentales%20para%20la%20Producci%C3%B3n%20Agropecuaria&text=La%20m%C3%A1quina%20picapastos%20son%20herramientas,az%C3%BAcar%2C%20ma%C3%ADz%2C%20entre%20otros>

EcuRed. (s.f.). Circuito eléctrico. Consultada el 09 de febrero de 2023. [https://www.ecured.cu/Circuito\\_el%C3%A9ctrico](https://www.ecured.cu/Circuito_el%C3%A9ctrico)

Helioesfera, s.f. La radiación solar. Consultada el 09 de febrero de 2023. <https://www.helioesfera.com/la-radiacion-solar/>

Hernández, R., Fernández C. y Baptista P. (2018). Metodología de la Investigación. Mc Graw Hill 6ta edición. México.

Huergo, L. (s.f.). Corriente alterna. <http://www.huergo.edu.ar/tcweb/pdf/APCap2.pdf>

ICM. (2016). El cable eléctrico. Definición y composición. Consultado el 09 de febrero de 2023. <https://www.icmesp.com/cable-electrico-definicion-composicion-2/#:~:text=Un%20cable%20el%C3%A9ctrico%20es%20un,el%20cobre%20o%20el%20aluminio>

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (s.f.). Guía de instalaciones eléctricas y medidas preventivas de peligros asociados a la electricidad. ICE. Costa Rica.  
<https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/1e517f7e-6ca2-4915-8349-0555c8224811/guia+instalaciones+electricas.pdf?MOD=AJPERES&CVID=11DokLf>

Intensity. (s.f.). Conceptos básicos de conductores eléctricos. Consultada el 09 de febrero de 2023.  
<https://intensity.mx/es/blog/conceptos-basicos-de-conductores-electricos#:~:text=Cable%20desnudo%3A%20A%20diferencia%20de,para%20la%20conexi%C3%B3n%20a%20tierra>

La red del campo Chacra. (s.f.). El valor de la tierra, en un piso. Consultado el 03 de febrero de 2023.  
revistachacra.com.ar

Mazur, G. (2020). ¿Qué es la resistencia? Fluke, consultado el 09 de febrero del 2023.  
<https://www.fluke.com/es-cr/informacion/blog/electrica/que-es-la-resistencia#:~:text=La%20resistencia%20es%20una%20medida,entre%20voltaje%2C%20corriente%20y%20resistencia.>

MB Uruguay. (s.f.). Sistemas On-Grid. Consultado el 03 de febrero de 2023.  
<https://www.mburuguay.com.uy/sistemas-conectados-a-red/>

Medina E. (2021). Diseño electromecánico de la línea de transmisión 10KV Subestación Eléctrica San Rafael - Planta B4 para la unidad minera ubicada en la región Puno. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Electricista de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos de Perú.  
[https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/16216/Medina\\_te.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/16216/Medina_te.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mera D. Quinteros V. (2020). Diseño de un sistema de riego inteligente por aspersión utilizando energía fotovoltaica para café y cacao en el Centro Experimental La Playita de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi de Ecuador.  
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6936>

Meteonorm Software. s.f. Meteonorm is a unique combination of reliable data sources and sophisticated calculation tools. It provides access to typical years and historical time series. Consultada el 11 de marzo de 2023. <https://meteonorm.com/en/#landingContent>

Omega Electric. (s.f.). ¿Qué es un transformador eléctrico? Consultada el 09 de febrero de 2023. <https://transformadoressiosac.com/definicion-transformador-electrico/>

Pérez. B. (2015). Modelo de gestión energética en el Hotel Condovac La Costa. Informe de práctica de especialidad para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial, del Tecnológico de Costa Rica. [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6113/proyectedegradacion\\_modelodegestionenergetica\\_byronperezcamareno.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6113/proyectedegradacion_modelodegestionenergetica_byronperezcamareno.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Pérez E. (2017). Manual de manejo sistemas intensivos sostenibles de ganadería de engorde. En alianza: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Sector AGRO Alimentario, Fundecooperación y Fondo Multilateral de Inversiones Miembro del Grupo BID (FOMIN). <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L02-10923.pdf>

Planas, O. (2016). Ubicación, orientación e inclinación de los paneles solares. Consultada el 09 de febrero de 2023. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/ubicacion-de-los-paneles-solares>

Planas, O. (2017). Tipos de paneles fotovoltaicos. Energía Solar. Consultada el 09 de febrero de 2023. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/tipos>

Quesada M. (2020). Rediseño del sistema eléctrico de la Fábrica Nacional de Licores. Informe de práctica de especialidad para optar por el título de Licenciatura en Mantenimiento Industrial del Tecnológico de Costa Rica. [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11492/TFG\\_Miguel\\_Ramiro\\_Quesada.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11492/TFG_Miguel_Ramiro_Quesada.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Quintanilla J. (2017). Energías renovables aplicables para el edificio de Amazon Seller Support. Informe final de graduación para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería Electromecánica de la Universidad Internacional de las Américas de Costa Rica.

Ucha, F. (2012). Definición de corriente continua. DefiniciónABC. Consultado el 09 de febrero de 2023.  
<https://www.definicionabc.com/ciencia/corriente-continua.php>

Raura E. (2021). Diseño de la red de distribución eléctrica para del Barrio Calluma de Pifo (Zona 2). Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Tecnólogo en Electromecánica de la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21763>

Salazar W. (2021). Diseño de un sistema de respaldo de energía fotovoltaico para cámaras de videovigilancia PTZ para la Parroquia de Pifo. Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Tecnólogo en Electromecánica de la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21662?mode=full>

Sebastian Energía Solar. (s.f.) Paneles solares. Consultado el 03 de febrero de 2023.  
<https://eliseosebastian.com/paneles-solares-fotovoltaicos-aislados/>

Sistema Costarricense de Información Jurídica. (2012). Reglamento de Oficialización del Código Eléctrico de Costa Rica para la Seguridad de la Vida y de la Propiedad, Ley N° 36979-MEIC.  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=72027#ddown](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=72027#ddown)

Sistema Costarricense de Información Jurídica. (2014). Código Eléctrico de Costa Rica para la Seguridad de la Vida y de la Propiedad, Ley N° 38440-MEIC.  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=77291&nValor3=96805&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=77291&nValor3=96805&strTipM=TC)

Sistema Costarricense de Información Jurídica. (2014). Reglamento de generación distribuida para autoconsumo de fuentes renovables en su modalidad neta sencilla. Consultado el 10 de febrero de 2023.

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=80310](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=80310)

Sistema Costarricense de Información Jurídica. (2016). Metodología de Fijación de tarifa de acceso a las redes de distribución por parte del productor-consumidor, reforma Norma AR-NT-POASEN, norma técnica regulatoria AR-NT-SUCOM, Resolución RJD-030-2016. [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=81121&nValor3=103327&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=81121&nValor3=103327&strTipM=TC).

Sapag N. Sapag R. (2008). Preparación y evaluación de proyectos. 2da Edición, Editorial Mc Graw Hill, México. <http://www.utntyh.com/wp-content/uploads/2013/03/Preparacion-Y-Evaluacion-De-Proyectos-Sapag-Sapag.pdf>

SolarPark. (s.f.). ¿Qué es y como funciona un panel solar? Consultada el 09 de febrero de 2023. <https://solarplak.es/energia/que-es-y-como-funciona-un-panel-solar/>

Solargis. (s.f.) Productos y aplicaciones a nivel global. Consultado el 03 de febrero de 2023. [www.apps.solargis.com](http://www.apps.solargis.com)

Sotysolar. (s.f.). Placas solares en serie o en paralelo. Consultada el 09 de febrero de 2023. <https://sotysolar.es/placas-solares/instalacion/serie-o-paralelo>

Smart Energy. (s.f.). Paneles solares. Consultada el 03 de febrero de 2023. [www.smartnewenergy.com](http://www.smartnewenergy.com)

Solis. (s.f.). S5-GR1P(7-10)k. Consultada el 21 de febrero de 2023. [https://www.ginlong.com/solarinverter3/7-10kw\\_s5\\_mx.html](https://www.ginlong.com/solarinverter3/7-10kw_s5_mx.html)

Sunfields Europe. (s.f.). Placas solares para Caravanas. Consultado el 03 de febrero de 2023.  
<https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/placas-solares-autocaravanas/>

Vesco, V. (2019). Suministro e instalación de paneles solares en la estación regional de COCESNA en Costa Rica. Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura es Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Latina de Costa Rica.  
[https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/916/1/TFG\\_Ulatina\\_Vittorio\\_Vesco\\_Ortega.pdf](https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/916/1/TFG_Ulatina_Vittorio_Vesco_Ortega.pdf)

Vindas M. (2018). Ahorro energético en la empresa Geotecnologías S.A. por medio de un sistema eólico, fotovoltaico y mixto. Trabajo final de graduación para optar por el grado de Bachillerato en Ingeniería Electromecánica, de la Universidad Internacional de las Américas.

# ANEXOS

## Anexo 1. Hoja de datos de los paneles solares

**Harvest the Sunshine**

**DEEP BLUE 3.0**

**Mono** 550W MBB Half-cell Module  
JAM72S30 525-550/MR/1500V Series

**Introduction**

Assembled with 118B PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.



Higher output power



Lower LCOE



Less shading and lower resistive loss

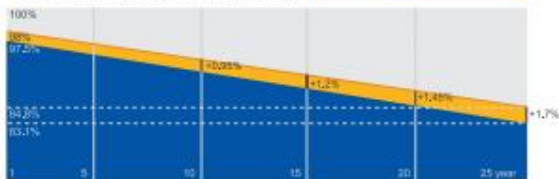


Better mechanical loading tolerance

### Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years



■ New linear power warranty ■ Standard module linear power warranty

### Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001: 2018 Occupational health and safety management systems





## Anexo 2. Cotización de los Boosters por Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica



### Oferta de servicios.

21 febrero 2023  
2102002301VI

Referencia: Suministro de material y mano de obra.  
Proyecto: Booster 37.5 kVA Finca La Luz, Milano, Siquirres.

Ing. Edhyer Artavia Briceño  
Proyecto: Sistema Booster 37.5 KVA, llave en mano.

A continuación, Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica Especializada Ltda.; Cedula jurídica 3-102-269335 les presenta para su revisión la oferta por nuestros servicios de suministro de material y mano de obra correspondientes al proyecto "Booster 37.5kVA Finca La Luz"

#### 1. ALCANCE

##### **Suministro de equipos y materiales para puesta en servicio de booster de 37.5kVA**

- a. Suministro e instalación de booster 37.5KVA, que incluye:
  - i. 1 transformador tipo poste en aceite, primario 120/240vac, secundario 480vac 1f, 37.5kva
  - ii. 1 transformador tipo poste en aceite, primario 480vac, secundario 240vac, 1f, 37.5Kva.
- b. Suministro e instalación de posteo para tiraje de líneas, se consideran postes en tubo HN 3" x 3" en 1.8mm @20 metros, cada poste contará con un pedestal de concreto para su debido soporte, el cableado se sujetará con aislador de porcelana en cada poste.
- c. Suministro e instalación de acometidas y protecciones, que incluye:
  - i. Acometida desde servicio ICE hasta transformador 1 (6 metros), THHN Cobre.
  - ii. Acometida desde transformador 1 hasta transformador 2 (215 metros). Aluminio XHHW.
  - iii. Suministro e instalación e acometida desde transformador 2 hasta tablero de carga "Estabulado" (6 metros). THHN cobre.
  - iv. Suministro e instalación e acometida desde transformador 2 hasta tablero de carga "Vivienda" (22 metros). THHN cobre.

Teléfono: (506) 89927399 / [jrojas@rojasruizing.com](mailto:jrojas@rojasruizing.com)  
San Juan, Tibás San Jose.



- v. Protección principal aguas arriba del transformador 1, 2 x 200 A, en caja moldeada NEMA 3R.
  - vi. Suministro e instalación de centro de carga monofásico 120/240vac, barras de 125 A, IP 2x125 A, 20 espacios, montaje de parche, "TE".
  - vii. Suministro e instalación de centro de carga monofásico 120/240vac barras de 125 A, 16 espacios, montaje de parche, "TMEB".
- d. Se incluye transporte de Materiales y equipos al sitio de instalación.

#### 1 VIGENCIA DE LA OFERTA

La vigencia de la oferta es de (30) días naturales contados a partir de la fecha de presentación de la misma.

#### 2. TIEMPO DE ENTREGA

El tiempo de entrega ofrecido es de 8 semanas, contados a partir del inicio de los trabajos.

#### 3. FORMA DE PAGO

15% Adelanto.  
85% Avances de obra a convenir.

#### 4. PRECIO COTIZADO

El monto del alcance del presupuesto es:

DESCRIPCIÓN	QTY	UNIDAD	UNITARIO	TOTAL
Transformador tipo poste 120/240 - 480, Monofásico, 37.5KVA	2	ud	€ 1 510 000,00	€ 3 020 000,00
Acometida ICE - Tx-1 3R2/D + 1R2 EMT 50mm	6	ml	€ 75 450,00	€ 452 700,00
Interruptor termomagnético 2x200A VVC2200 EATON en caja moldeada Nema 3R	1	ud	€ 248 854,00	€ 248 854,00
Acometida Tx-1 - Tx-2 XHHW-2 AL 4/0	215	ml	€ 2 350,00	€ 505 250,00
Acometida Tx-2 - Tablero Confinamiento 3R2 + 1R8 EMT 19MM	6	ml	€ 29 967,00	€ 179 802,00
Acometida Tx-2 - Tablero Vivienda 3R4 + 1R8 EMT 19mm	22	ml	€ 20 622,00	€ 453 684,00
Base de concreto para poste, colado en sitio,	12	ud	€ 37 850,00	€ 454 200,00
Poste de metal 3"x3"x1,8mm x6m galvanizado	12	ud	€ 24 525,00	€ 294 300,00
Ancla y tensores para poste con transformador	6	ud	€ 84 685,00	€ 508 110,00
Aislador de porcelana para 600 VAC	12	ud	€ 68 985,00	€ 827 820,00
Centro de Carga "TE" barras 125A, IP 2x125A, 20 espacios, parche.	1	ud	€ 110 000,00	€ 110 000,00
centro de carga "TMEB", barras 100A, IP 2x100A, 16 espacios, parche,	1	ud	€ 71 000,00	€ 71 000,00
Material vario (Tape, tornillería, etiquetado, terminales, etc)	1	gbl	€ 185 000,00	€ 185 000,00
			Sub total	€ 7 310 720,00
			Inspección	€ 584 857,60
			Administración	€ 1 096 608,00
			subtotal	€ 8 992 185,60
			IVA	€ 1 168 984,13
			TOTAL	€ 10 161 169,73

#### 5. ESPECIFICACIONES GENERALES.

- a. Toda la instalación electromecánica se realizará acorde con las normativas vigentes en nuestro país (NEC, CFIA, NFPA, Etc.).
- b. Nuestro personal cuenta con capacitación y certificación para este tipo de obra.

Teléfono: (506) 89927399 / jrojas@rojasruizing.com  
San Juan, Tibás San Jose.




- c. Nuestro personal cuenta con capacitación y certificación para la realización de trabajos en alturas y trabajos con riesgo eléctrico.
- d. Todo el personal estará cubierto por póliza RT y CCSS.

#### 6. GARANTIA

La garantía será de doce meses contra defectos de instalación o defectos en materiales o equipos suministrados e instalados por Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica Especializada Ltda., esta garantía no cubre ningún equipo o material que no haya sido suministrado e instalado por Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica Especializada Ltda.

Quedamos a la orden de cualquier consulta o comentario.

Sin más,



Firmado  
digitalmente por  
JOSE EDUARDO  
ROJAS GONZALEZ  
(FIRMA)  
Fecha: 2023.02.22  
23:08:15 -06'00'

Atentamente,

*Ing. Eduardo Rojas González*  
*Director de Proyectos*  
*Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica Especializada Ltda.*

## Anexo 3. Cotización de suministros de materiales y mano de obra por Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica



### Oferta de servicios.

22 febrero 2023  
2202002302V1

Referencia: Suministro de material y mano de obra.  
Proyecto: Acometida independiente para casa de habitación, Milano, Siquirres.

---

Ing. Edhyer Artavia Briceño  
Proyecto: Acometida independiente casa de habitación.

A continuación, Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica Especializada Ltda.; Cedula jurídica 3-102-269335 les presenta para su revisión la oferta por nuestros servicios de suministro de material y mano de obra correspondientes al proyecto en mension.

#### 1. ALCANCE

##### **Suministro de materiales y mano de obra para construcción de acometida independiente para casa de habitación, ubicada en Milano, Siquirres.**

- a. Suministro e instalación de posteo para tiraje de líneas, se consideran postes en tubo HN 3" x 3" en 1.8mm @15 metros, cada poste contará con un pedestal de concreto para su debido soporte, el cableado se sujetará mediante un crucero y los herrajes y aisladores correspondientes para 600 voltios.
- b. Suministro e instalación de acometida y protección, que incluye:
  - i. Acometida desde servicio ICE hasta TMEB (215M), dicha acometida tendrá las siguientes características:  
L1: 1 x #300 MCM XHHW-2 Serie 8000 Aluminio.  
L2: 1 x #300 MCM XHHW-2 Serie 8000 Aluminio.  
N: 1 x #300 MCM XHHW-2 Serie 8000 Aluminio.  
T: 1 x #3/0 AWG XHHW-2 Serie 8000 Aluminio.  
Canalización: Aérea, posteo cada 15m.  
Longitud: 215 metros.
  - ii. Protección principal de entrada de acometida, Breaker CCV2100 Eaton, 2p, 100A, en caja moldeada NEMA 3R.
  - iii. Suministro e instalación de centro de carga monofásico 120/240vac barras de 125 A, 16 espacios, montaje de parche, "TMEB".
- c. Se incluye transporte de Materiales y equipos al sitio de instalación.

Teléfono: (506) 89927399 / jrojas@rojasruizing.com  
San Juan, Tibás San Jose.



## 1 VIGENCIA DE LA OFERTA

La vigencia de la oferta es de (30) días naturales contados a partir de la fecha de presentación de la misma.

## 2. TIEMPO DE ENTREGA

El tiempo de entrega ofrecido es de 6 semanas, contados a partir del inicio de los trabajos.

## 3. FORMA DE PAGO

15% Adelanto.

85% Avances de obra a convenir.

## 4. PRECIO COTIZADO

El monto del alcance del presupuesto es:

OFERTA ROJAS RUIZ ACOMETIDA INDEPENDIENTE PARA CASA HABITACION				
DESCRIPCION	QTY	UNIDAD	UNITARIO	TOTAL
Acometida ICE - TMBE 3#300mm XHHW-2 + 1 3/0 AWG XHHW-2 ALUMINIO (AEREO)	215	ud	€ 12 600,00	€ 2 709 000,00
Interruptor caja moldeada CC2100 2p 240v CCV2100 EATON + CAJA MOLDEADA NEMA 3R	1	ud	€ 321 402,00	€ 321 402,00
Base de concreto para poste, colado en sitio.	15	ud	€ 37 850,00	€ 567 750,00
Poste de metal 3" x3" x3,8mm adm galvanizado	15	ud	€ 24 525,00	€ 367 875,00
Ancla y tensores para poste inicio y final	6	ud	€ 84 685,00	€ 508 110,00
Cruceo galvanizado 3x3 x 1/4 en 1,5 m	15	ud	€ 52 465,00	€ 786 975,00
Herrajes para poste y aisladores de líneas	1	gbf	€ 712 500,00	€ 712 500,00
centro de carga "TMBE", barras 100A, IP 2x100A, 16 espacios, parche,	1	ud	€ 71 000,00	€ 71 000,00
Material vario (Tape, torriñetas, etiquetado, terminales, etc)	1	gbf	€ 185 000,00	€ 185 000,00
			Sub total	€ 6 229 612,00
			Inspeccion	€ 498 368,96
			Administracion	€ 934 443,80
			subtotal	€ 7 662 422,76
			IVA	€ 996 114,96
			TOTAL	€ 8 658 537,72

## 5. ESPECIFICACIONES GENERALES.

- Toda la instalación electromecánica se realizará acorde con las normativas vigentes en nuestro país (NEC, CFIA, NFPA, Etc.).
- Nuestro personal cuenta con capacitación y certificación para este tipo de obra.
- Nuestro personal cuenta con capacitación y certificación para la realización de trabajos en alturas y trabajos con riesgo eléctrico.
- Todo el personal estará cubierto por póliza RT y CCSS.

## 6. GARANTIA

La garantía será de doce meses contra defectos de instalación o defectos en materiales o equipos suministrados e instalados por Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica Especializada Ltda., esta garantía no cubre ningún equipo o material que no haya sido suministrado e instalado por Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica Especializada Ltda.

Quedamos a la orden de cualquier consulta o comentario.

Sin más,

Teléfono: (506) 89927399 / jrojas@rojasruizing.com  
San Juan, Tibás San Jose.



Firmado  
digitalmente por  
JOSE EDUARDO  
ROJAS GONZALEZ  
(FIRMA)  
Fecha: 2023.02.22  
23:08:55 -06'00'

Atentamente,

*Ing. Eduardo Rojas González*  
*Director de Proyectos*  
*Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica Especializada Ltda*

Teléfono: (506) 89927399 / [jrojas@rojasruizing.com](mailto:jrojas@rojasruizing.com)  
San Juan, Tibás San Jose.

## Anexo 4. Cotización de suministros de materiales por Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica para el sistema fotovoltaico



### Oferta de servicios.

22 febrero 2023  
2202002305V1

Referencia: Suministro de material y mano de obra.  
Proyecto: Sistema fotovoltaico aislado para confinamiento, Milano, Siquirres.

---

Ing. Edhyer Artavia Briceño  
Proyecto: Sistema fotovoltaico aislado para confinamiento

A continuación, Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica Especializada Ltda.; Cedula jurídica 3-102-269335 les presenta para su revisión la oferta por nuestros servicios de suministro de material y mano de obra correspondientes al proyecto en mención.

#### 1. ALCANCE

**Suministro de materiales y mano de obra para construcción de de un sistema fotovoltaico aislado, ubicado en Milano, Siquirres.**

- a. Suministro e instalación de sistema fotovoltaico aislado para sistema de confinamiento, que incluye:

43 módulos fotovoltaicos JAsolar de 550Wp.  
3 inversor central 8kw -1f- 120/240VAC.  
Canalización y cableado DC.  
Estructura de soporte para módulos, sistema mini riel  
Conectores MC4  
Etiquetado de sistema.  
Grounding lugs para puesta a tierra del sistema  
Conductor en aluminio desnudo para puesta a tierra.  
Instalación de equipo y puesta en marcha.

- b. Se incluye transporte de Materiales y equipos al sitio de instalación.

#### 1 VIGENCIA DE LA OFERTA

La vigencia de la oferta es de (30) días naturales contados a partir de la fecha de presentación de la misma.

#### 2. TIEMPO DE ENTREGA

El tiempo de entrega ofrecido es de 8 semanas, contados a partir del inicio de los trabajos.

Teléfono: (506) 89927399 / [jrojas@rojasruizing.com](mailto:jrojas@rojasruizing.com)  
San Juan, Tibás San Jose.



### 3. FORMA DE PAGO

- 15% Adelanto.
- 85% Avances de obra a convenir.

### 4. PRECIO COTIZADO

El monto del alcance del presupuesto es:

OFERTA SISTEMA FOTOVOLTAICO				
DESCRIPCION	QTY	UNIDAD	UNITARIO	TOTAL
PANEL SOLAR 300W-550MM 72HLL 550w	43	UD	€ 88 671,00	€ 4 242 878,80
INVERSOR SOLID BVM	3	UD	€ 621 500,00	€ 1 864 500,00
MENI BIEL	86	UD	€ 1 130,00	€ 97 180,00
END CLAMP	86	UD	€ 1 130,00	€ 97 180,00
MID CLAMP	86	UD	€ 1 130,00	€ 97 180,00
GROUNDING LUG	32	UD	€ 1 130,00	€ 36 160,00
CABLEADO DC #12 ROJO	43	M	€ 463,30	€ 19 921,90
CABLEADO DC #12 NEGRO	43	M	€ 463,30	€ 19 921,90
CONECTOR ME4	50	UD	€ 791,00	€ 39 550,00
MANO DE OBRA DE INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA	1	GBL	€ 1 412 500,00	€ 1 412 500,00
			Sub total	€ 7 926 972,60
			Administracion	€ 634 157,81
			Subtotal	€ 8 561 130,41
			IVA	€ 1 113 966,95
			TOTAL	€ 9 675 097,36

### 5. ESPECIFICACIONES GENERALES.

- a. Toda la instalación electromecánica se realizará acorde con las normativas vigentes en nuestro país (NEC, CFIA, NFPA, Etc.).
- b. Nuestro personal cuenta con capacitación y certificación para este tipo de obra.
- c. Nuestro personal cuenta con capacitación y certificación para la realización de trabajos en alturas y trabajos con riesgo eléctrico.
- d. Todo el personal estará cubierto por póliza RT y CCSS.

### 6. GARANTIA

- La garantía será de:
- 25 años para módulos fotovoltaicos.
  - 15 años para inversores.
  - 5 años para vicios ocultos de instalación.

Quedamos a la orden de cualquier consulta o comentario.

Sin más,


 Firmado digitalmente por  
 JOSÉ EDUARDO  
 ROJAS GONZALEZ  
 (FIRMA)  
 Fecha: 2023.02.22  
 23:08:55 -06'00'

Atentamente,

**Ing. Eduardo Rojas González**  
 Director de Proyectos  
 Rojas Ruiz Ingeniería Electromecánica Especializada Ltda

Teléfono: (506) 89927399 / rojas@rojasruizing.com  
 San Juan, Tibás San Jose.

## Anexo 5. Tarifas vigente ICE



Tabla 1  
Tarifas del servicio de generación eléctrica prestado por el ICE para el año 2023, según el mes y el tipo de tarifa respectivo.

Tipo de tarifa y bloque	Enero	Febrero	Marzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VENTAS A ICE DISTRIBUCIÓN Y A LA CNFL</b>												
<b>T-CB</b>												
a. Energía Punta	47.13	47.13	47.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b. Energía Valle	38.61	38.61	38.61	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c. Energía Noche	32.79	32.79	32.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d. Potencia Punta	2499.9	2499.9	2499.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
e. Potencia Valle	2499.9	2499.9	2499.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f. Potencia Noche	2499.9	2499.9	2499.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>VENTAS AL SERVICIO DE DISTRIBUCIÓN</b>												
<b>T-SD</b>												
a. Energía Punta	46.52	46.52	46.52	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b. Energía Valle	38.11	38.11	38.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c. Energía Noche	32.6	32.6	32.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d. Potencia Punta	2499.9	2499.9	2499.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
e. Potencia Valle	2499.9	2499.9	2499.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f. Potencia Noche	2499.9	2499.9	2499.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>USUARIOS DIRECTOS</b>												
<b>T-UD</b>												
a. Energía Punta	0.054	0.054	0.054	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b. Energía Valle	0.046	0.046	0.046	0	0	0	0	0	0	0	0	0
c. Energía Noche	0.039	0.039	0.039	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d. Potencia Punta	2.909	2.909	2.909	0	0	0	0	0	0	0	0	0
e. Potencia Valle	2.909	2.909	2.909	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f. Potencia Noche	2.909	2.909	2.909	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos  
 \* Las tarifas pueden diferir del valor puntual de los pliegos pues la tabla muestra el promedio del mes, y de existir dos o más tarifas que estuvieron vigentes, se realiza un promedio ponderado por la cantidad de días.

PORTADA

2023



Tabla 2  
Tarifas del servicio de distribución eléctrica y alumbrado público prestado por el ICE para el año 2023, según el mes y el tipo de tarifa respectivo.

Tipo de tarifa y bloque	Enero	Febrero	Marzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>RESIDENCIAL</b>												
<b>T-RE</b>												
a. Bloque 0-140 kWh	1,276.42	1,276.42	1,276.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b. Bloque 0-140 kWh	62.44	62.44	62.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c. Bloque 141-195 kWh	2,406.95	2,406.95	2,406.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
d. Bloque 141-195 kWh	70.62	70.62	70.62	-	-	-	-	-	-	-	-	-
e. Bloque 196-250 kWh	3,568.74	3,568.74	3,568.74	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f. Bloque 196-250 kWh	82.09	82.09	82.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
g. Bloque 251-370 kWh	4,386.70	4,386.70	4,386.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
h. Bloque 251-370 kWh	95.41	95.41	95.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-
i. Bloque mayor a 371 kWh	8,815.06	8,815.06	8,815.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
j. Bloque mayor a 371 kWh	110.92	110.92	110.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
j.a. Por consumo de energía (kWh)	8,815.06	8,815.06	8,815.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
j.b. Por consumo de energía (kWh)	66.37	66.37	66.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
j.c. Por consumo de energía (kW)	10,970.21	10,970.21	10,970.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>COMERCIOS Y SERVICIOS</b>												
<b>T-CO</b>												
a. Consumo de Energía menor o igual a 3000 kWh	110.92	110.92	110.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b. Consumo de Energía cada kWh	66.37	66.37	66.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c. Consumo de Potencia cada kW	10,970.21	10,970.21	10,970.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>INDUSTRIAL</b>												
<b>T-IN</b>												
a. Consumo de Energía menor o igual a 3000 kWh	110.92	110.92	110.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b. Consumo de Energía cada kWh	66.37	66.37	66.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c. Consumo de Potencia cada kW	10,970.21	10,970.21	10,970.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>PREFERENCIAL</b>												
<b>T-CS</b>												
a. Consumo de Energía menor o igual a 3000 kWh	94.27	94.27	94.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b. Consumo de Energía cada kWh	56.43	56.43	56.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c. Consumo de Potencia cada kW	9,324.67	9,324.67	9,324.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MEDIA TENSIÓN (T-MT)</b>												
<b>T-MT</b>												
a. Periodo Punta (máxima)	57.64	57.64	57.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b. Periodo Punta (mínimo)	55.36	55.36	55.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c. Periodo Valle (máxima)	21.41	21.41	21.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-
d. Periodo Valle (mínimo)	20.57	20.57	20.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-
e. Periodo Noche (máxima)	13.17	13.17	13.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f. Periodo Noche (mínimo)	12.65	12.65	12.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
g. Potencia Punta (Máxima)	9,353.36	9,353.36	9,353.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
h. Potencia Punta (Mínimo)	8,982.97	8,982.97	8,982.97	-	-	-	-	-	-	-	-	-
i. Potencia Valle (Máxima)	6,530.64	6,530.64	6,530.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-
j. Potencia Valle (Mínimo)	6,272.03	6,272.03	6,272.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
k. Potencia Noche (Máxima)	4,183.03	4,183.03	4,183.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-
l. Potencia Noche (Mínimo)	4,017.38	4,017.38	4,017.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>MEDIA TENSIÓN (T-MTb)</b>												

<b>MEDIA TENSION (T-MTb)</b>										
<b>T-MTb</b>										
a. Periodo Punta (máxima)	104.61	104.61	104.61	-	-	-	-	-	-	-
b. Periodo Punta (mínimo)	100.47	100.47	100.47	-	-	-	-	-	-	-
c. Energía Valle (Máxima)	35.94	35.94	35.94	-	-	-	-	-	-	-
d. Energía Valle (Mínimo)	34.52	34.52	34.52	-	-	-	-	-	-	-
e. Periodo Noche (máxima)	23.09	23.09	23.09	-	-	-	-	-	-	-
f. Periodo Noche (mínimo)	22.17	22.17	22.17	-	-	-	-	-	-	-
g. Potencia Punta (Máxima)	3,072.43	3,072.43	3,072.43	-	-	-	-	-	-	-
h. Potencia Punta (Mínimo)	2,950.76	2,950.76	2,950.76	-	-	-	-	-	-	-
i. Potencia Valle (Máxima)	2,144.85	2,144.85	2,144.85	-	-	-	-	-	-	-
j. Potencia Valle (Mínimo)	2,059.91	2,059.91	2,059.91	-	-	-	-	-	-	-
k. Potencia Noche (Máxima)	1,374.47	1,374.47	1,374.47	-	-	-	-	-	-	-
l. Potencia Noche (Mínimo)	1,320.04	1,320.04	1,320.04	-	-	-	-	-	-	-
<b>Residencial horaria</b>										
<b>T-REH</b>										
Periodo Noche	72.37	72.37	72.37	-	-	-	-	-	-	-
Periodo Punta	144.39	144.39	144.39	-	-	-	-	-	-	-
Periodo Valle	99.21	99.21	99.21	-	-	-	-	-	-	-
<b>ALUMBRADO PÚBLICO</b>										
<b>T-AP</b>										
a. Bloque 0-40 kWh	127.60	127.60	127.60	-	-	-	-	-	-	-
b. Bloque 41-50 000 kWh	3.19	3.19	3.19	-	-	-	-	-	-	-
c. Bloque mayor a 50 000 kWh	159,500.00	159,500.00	159,500.00	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tarifa de acceso</b>										
T-TA	22.56	22.56	22.56	-	-	-	-	-	-	-
a. Consumo de Energía cada kWh										
<b>Tarifa en centros de recarga rápida</b>										
T-VE	150.00	150.00	150.00	-	-	-	-	-	-	-
b. Por minuto de recarga de energía										
<b>Tarifa residencial modalidad prepago</b>										
T-RP										
cada kWh	126.26	126.26	126.26	-	-	-	-	-	-	-
Cargo fijo	1,277.13	1,277.13	1,277.13	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tarifa en centros de recarga en planteles para autobuses eléctricos</b>										
T-BE										
b. Consumo de Energía cada kWh	57.08	57.08	57.08	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos

\* Las tarifas pueden diferir del valor puntual de los pliegos pues la tabla muestra el promedio del mes, y de existir dos o más tarifas que estuvieron vigentes, se realiza un promedio ponderado por la cantidad de días.

### Anexo 6. Plano eléctrico de la unidad habitacional

