

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS  
AMÉRICAS**

**VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**“DISEÑO ELÉCTRICO MEDIANTE UNA PROPUESTA  
DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO Y REUTILIZACIÓN  
DEL AGUA DE LLUVIA PARA USO DE RIEGO EN  
JARDINES DE UNA VIVIENDA DE 1200 M<sup>2</sup>”**

**PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLERATO EN INGENIERÍA  
ELECTROMECAÁNICA**

**DENIS RODRÍGUEZ ROJAS**

**AUTOR**

**MÁSTER BILLY RETANA PEÑA**

**TUTOR**

**SEDE ARANJUEZ**

**MARZO,2018**

## Tabla de Contenidos

Lista de tablas.....	7
Lista de figuras CAPÍTULO 2 .....	7
Lista de figuras CAPÍTULO 3 .....	7
Lista de figuras CAPÍTULO 4 .....	8
DEDICATORIA.....	9
AGRADECIMIENTOS .....	10
RESUMEN EJECUTIVO .....	11
CAPÍTULO 1 .....	13
Introducción .....	14
Problemática.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos; .....	15
Justificación .....	16
Antecedente 1 .....	17
Antecedente 2 .....	18
Alcances .....	19
Limitaciones .....	19
CAPÍTULO 2 .....	20
2.2 Reglamentación de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables, modelo de contratación medición neta sencilla MINAE N° 39220 .....	21
2.3 Norma INTE 31 08-06-2000, segunda edición “Niveles de condiciones de iluminación que deben de tener los centros de trabajo” .....	23
Campo de aplicación; .....	23
Fuente: INTE 31-08-06-2000 .....	24
2.4 Artículos y Normas (ART-NT-POASEN).....	25
Artículo 3. Definiciones .....	25
Artículo 124.....	25
Artículo 125.....	25
Artículo 127 .....	26
Artículo 128.....	26
Conceptos de facturación;.....	27
2.5 Artículos del NEC 2008 para el Diseño de Viviendas .....	28
2.5.1 Artículo 220.12: Cargas de alumbrado para ocupaciones específicas .....	28

2.5.2 Artículo (220.52 A). Cargas de electrodomésticos pequeños y lavandería en unidades de vivienda .....	30
2.5.3 Artículo (220.52 B). Carga del circuito de Lavandería .....	30
2.4.4 Artículo (220.42). Factor de demanda de cargas de alumbrado .....	30
2.5.5 Artículo (220.53). Cargas de electrodomésticos en unidades de vivienda .....	31
2.5.6 Artículo (220.54). Secadoras eléctricas de ropa en unidades de vivienda .....	32
2.5.7 Artículo (220.55). Estufas eléctricas y otros electrodomésticos de cocción en unidades de vivienda .....	32
2.5.8 Artículo (220.50 NEC). Motores .....	33
2.5.9 Selección de conductores eléctricos .....	35
2.6 Componentes de una Instalación Eléctrica, Tipo Residencial .....	36
2.6.1 Medidores Bidireccional .....	36
2.6.2 Protección con interruptor de circuito por falla a arco (AFCI) .....	37
2.6.3 Protección con interruptor de circuito por falla a tierra (GFCI) .....	38
2.6.4 Conductores Eléctricos .....	38
2.6.4.1 Cable THHN .....	38
2.6.5 Centros de carga .....	39
2.6.5.1 Fases .....	40
2.6.5.2 Tipos .....	40
2.6.6 Iluminación .....	40
2.6.6.1 Tipos de iluminación .....	40
2.6.7 Sistemas Puesta a Tierra .....	41
2.7 Método de Lúmenes .....	42
2.8 Caída de Voltaje .....	44
2.9 Generación fotovoltaica .....	45
2.10 Radiación Solar en Costa Rica .....	46
2.10.1 Elementos de un sistema Fotovoltaico .....	47
2.11 Cálculo de módulos fotovoltaicos .....	48
2.11.1 Cálculo de arreglos de paneles solares .....	49
2.11.2 Cálculo del ángulo de inclinación .....	50
2.12 Sistema de aprovechamiento del agua de lluvia .....	50
2.12.1 Beneficios de recolección de agua de lluvia .....	53
2.13 Artículos del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones 2017 del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA) .....	54
Capítulo 9; Normas para sistemas de Recolección y Evacuación de agua de lluvia .....	54

<b>9.1 Normas generales;</b> .....	<b>54</b>
2.13.1 Artículo 9.1-1 .....	54
2.13.2 Artículo 9.1-2.....	55
2.13.3 Artículo 9.1-4.....	55
2.5.4 Artículo 9.2-1 .....	55
2.13.5 Artículo 9.2-2 .....	56
2.13.7 Artículo 9.2-5.....	56
2.13.8 Artículo 7.2-1 .....	56
2.13.9 Artículo 7.2-2 Acero galvanizado .....	56
2.13.12 Artículo 7.2-5 .....	57
2.13.13 Artículo 7.2-6.....	57
2.13.14 Artículo 7.2-7 Uniones .....	58
2.13.15 Artículo 7.2-8 PE.....	58
2.13.16 Artículo 7.2-9 PVC .....	58
2.13.17 Artículo 9.3-1 .....	58
2.13.18 Artículo 9.3-2 .....	62
2.13.19 Artículo 9.3-3 .....	62
2.13.20 Artículo 9.4-5 Tanque colector .....	62
2.13.21 Artículo 9.4-6 .....	63
2.13.22 Artículo 9.4-7 .....	64
2.13.23 Artículo 9.4-8 .....	64
2.13.24 Artículo 7.9-7 Requisitos de las bombas.....	64
2.14 Cálculo del sistema de bombeo .....	66
2.15 VAN Y TIR .....	71
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>73</b>
<b>3.1 Metodología .....</b>	<b>74</b>
<b>4. 1 Memoria de Cálculo (Planta Baja).....</b>	<b>80</b>
4.1.1.1 Cargas de iluminación y tomas generales.....	80
4.1.1.2 Cargas de electrodomésticos pequeños .....	81
4.1.1.3 Cargas de circuitos de baños.....	81
4.1.1.4 Cargas de lavandería.....	81
4.1.1.5 Factor de demanda.....	81
4.1.1.6 Carga de cocción.....	82
4.1.1.7 Carga de salidas fijas .....	83

4.1.1.8	Carga de secadora .....	83
4.1.1.9	Carga al motor más grande .....	84
	<b>Memoria de Cálculo (Planta Alta) .....</b>	<b>87</b>
4.1.1.10	Cargas de iluminación y tomas generales .....	87
4.1.1.11	Carga de circuito de baños .....	88
4.1.1.12	Factor de demanda .....	88
4.1.1.13	Cálculo del Transformador .....	95
4.1.1.14	Cálculo de caída de tensión en la acometida .....	96
4.1.1.15	Cálculo de caída de tensión en conductores de aluminio .....	97
4.1.1.16	Acometida eléctrica y puesta a tierra .....	100
4.2	<b>Información climatológica de Santa Ana, San José, mediante el software Solarium PV .....</b>	<b>101</b>
4.2.1	Irradiación anual en Santa Ana, San José .....	104
4.2.2	Diseño de sistema fotovoltaico .....	106
4.2.3	<b>Información climatológica de Santa Ana, San José, proporcionado por la NASA .....</b>	<b>107</b>
4.3	Cálculo de potencia en Kwh/mes de la unidad de vivienda .....	108
4.4	Cálculo de número de módulos fotovoltaicos .....	112
4.4.1	Cálculo de porcentajes de cobertura carga demandada .....	113
	<b>Caso # 1: Área total de techos (500m2) .....</b>	<b>113</b>
	<b>Caso #2: 100% del consumo .....</b>	<b>117</b>
	<b>Caso # 3: 49% del consumo .....</b>	<b>120</b>
4.6	Cálculo del inversor .....	126
4.6.1	Cálculo del arreglo de módulos fotovoltaicos .....	127
4.6.2	Cálculo de dimensiones de módulos fotovoltaicos .....	128
4.6.3	Ángulos de inclinación .....	129
4.6.4	Cálculo de estructuras para la colocación de paneles solares .....	130
4.7	<b>Análisis Financiero; retorno de inversión .....</b>	<b>130</b>
	<b>Inversión caso #1: Generación de 500 m2 de área de techos .....</b>	<b>131</b>
	<b>Inversión caso # 2: 100% del consumo sistema fotovoltaico .....</b>	<b>132</b>
	<b>Inversión caso #3: 49 % del consumo sistema fotovoltaico .....</b>	<b>133</b>
4.8	<b>Comparación de consumos de la vivienda sin paneles y con paneles solares .....</b>	<b>134</b>
	<b>Ahorro Caso #1: Generación de 500 m2 de área de techos .....</b>	<b>135</b>
	<b>Ahorro Caso #2: 100% del consumo .....</b>	<b>136</b>
	<b>Ahorro Caso # 3: 49% del consumo .....</b>	<b>137</b>
4.9	<b>Calculo del VAN y TIR .....</b>	<b>138</b>

<b>Caso # 1; Generación fotovoltaica de un área de 500 m2 de techo .....</b>	<b>140</b>
<b>Caso #2: 100% del consumo .....</b>	<b>142</b>
<b>Caso #3: 49% del consumo .....</b>	<b>144</b>
<b>4.10 Cálculos Sistema Mecánico .....</b>	<b>146</b>
4.10.1 Cálculo de tuberías de desagüe .....	146
4.10.2 Cálculos del tanque de almacenamiento .....	147
4.10.3 Cálculo de la Bomba del Sistema Mecánico .....	148
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>155</b>
<b>4.11 Análisis de Resultados .....</b>	<b>156</b>
4.11.1 Diseño Eléctrico Mediante el Código Eléctrico Nacional (NEC 2008) .....	156
4.11.2 Elección del material del conductor de la acometida .....	158
4.11.3 Diseño eléctrico implementado para un sistema fotovoltaico .....	158
4.11.4 Análisis financiero.....	161
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>165</b>

## Lista de figuras CAPÍTULO 2

Figura 2 1. Valor mínimo de servicios de iluminación tipo residencial.....	24
Figura 2 2. Cargas de alumbrado por tipo de ocupación.....	29
Figura 2 3. Factores de demanda de cargas por alumbrado .....	31
Figura 2 4. Factores de demanda para estufas eléctricas .....	33
Figura 2 5. Corrientes a plena carga para motores monofásicos .....	33
Figura 2 6 Corrientes a plena carga motores bifásicos .....	34
Figura 2 7 Corrientes a plena carga motores trifásicos.....	34
Figura 2 8 Ampacidades permisibles en conductores aislados.....	35
Figura 2 9. Medidor bidireccional .....	37
Figura 2 10. Conductor THHN .....	39
Figura 2 11. Lámpara fluorescente.....	41
Figura 2 12. Sistema puesta a tierra .....	42
Figura 2 13. Diagrama de bloques método lúmenes .....	43
Figura 2 14. Sistema Fotovoltaico .....	46
Figura 2 15. Brillo solar anual en Costa Rica.....	47
Figura 2 16. Sistema de paneles solares.....	48
Figura 2 17. Sistema de aprovechamiento del agua de lluvia.....	52
Figura 2 19. Coeficiente de escorrentía superficial .....	59
Figura 2 20. Factores de frecuencia para el coeficiente de escorrentía .....	60
Figura 2 21. Intensidad de lluvia (mm/hr) para un periodo de retorno de 10 años.....	61
Figura 2 22. Intensidad de lluvia (mm/hr) para un periodo de retorno de 25 años.....	61
Figura 2 23. Calculo del diámetro del bajante desagüe .....	62
Figura 2 24. Coeficiente de Hazen-Williams.....	68
Figura 2 25. Longitud de equivalencias de pérdidas en tuberías .....	69

## Lista de figuras CAPÍTULO 3

Figura 3 1. Diagrama de bloques.....	76
--------------------------------------	----

## Lista de figuras CAPÍTULO 4

Figura 4 1. Representación gráfica del método lúmenes en el plano eléctrico (planta baja) .....	78
Figura 4 2. Representación gráfica del método lúmenes en el plano eléctrico (planta alta) .....	85
Figura 4 3. Plano eléctrico de luminarias (planta baja) .....	91
Figura 4 4. Plano eléctrico de tomacorrientes (planta baja) .....	92
Figura 4 5. Plano eléctrico de luminarias (planta alta) .....	93
Figura 4 6. Plano eléctrico de tomacorrientes (planta alta) .....	94
Figura 4 7. Diagrama unifilar de Interconexión al Sistema Eléctrico.....	101
Figura 4 8. Meses con mayor precipitación para la zona de Santa Ana, San José.....	102
Figura 4 9. Diagrama de temperatura Santa Ana, San José.....	103
Figura 4 10. Precipitaciones entre el mes más seco y húmedo del año .....	104
Figura 4 11. Irradiación anual solar para la zona de Santa Ana, San José .....	105
Figura 4 12. Diagrama solar .....	106
Figura 4 13. Calculadora energética CNFL .....	110
Figura 4 14. Área de 500 m2 de techos a utilizar para el caso 1 .....	116
Figura 4 15. Área de 104,6 m2 de techos a utilizar para el caso 2 .....	119
Figura 4 16. Área de 50 m2 de techos a utilizar para el caso 3 .....	122
Figura 4 17. Arreglo de módulos fotovoltaicos .....	128
Figura 4 18. Retorno de inversión caso 1 .....	141
Figura 4 19. Retorno de inversión caso 2 .....	143
Figura 4 20. Retorno de inversión caso 3 .....	145
Figura 4 21. Representación gráfica del sistema mecánico .....	153

## **DEDICATORIA**

Primero, quiero dedicar este proyecto, por sobre todas las cosas, a Dios, por permitirme concluirlo, además de darme la sabiduría, la humildad y constancia a través de estos años de estudio, a los cuales les di gran dedicación en todo este tiempo.

También a mis padres, Francisco Rodríguez Guevara y Shirley Rojas Díaz, quienes en momentos difíciles estuvieron conmigo, además de ser mi motivo primordial de superación personal, por todo el tiempo de trabajo constante de parte de ellos para poder alcanzar esta meta.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme cumplir el sueño de convertirme en ingeniero.

Además agradezco a mi tutor, el Master Billy Retana Peña, quien fue un pilar fundamental gracias a su gran experiencia en el ámbito ingenieril, esto facilitó la conclusión de este trabajo de graduación, ya que estuvo todo el tiempo con la disposición para evacuar dudas.

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto tiene como tema principal diseñar un plano eléctrico mediante una propuesta de un sistema fotovoltaico y reutilización del agua de lluvia para uso en jardines de una vivienda de 1200 metros cuadrados; además como objetivo general de este trabajo es realizar el diseño más adecuado para la unidad de vivienda, siempre con la implementación de un sistema de paneles solares, en la casa ubicada en Santa Ana, San José.

Este proyecto cuenta con tres sub divisiones: Teóricos, criterios basados en el Código Eléctrico Nacional (NEC 2008), así como el código de instalaciones hidráulicas y sanitarias del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA 2017), además del estudio económico del proyecto.

En esta investigación se recopilaron datos bibliográficos de libros, revistas, manuales y de internet, con el fin de obtener suficiente información acerca de fuentes de energías renovables y su máximo aprovechamiento, que de alguna manera u otra sustentara el cuerpo teórico del proyecto.

Posteriormente se hace el análisis de los planos arquitectónicos y de techos de la casa, para seguidamente iniciar con el diseño de la vivienda de acuerdo a los compartimientos y requerimientos del Código Eléctrico Nacional (NEC) y del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias del CFIA. Esto como punto de partida principal.

Finalmente, se pretende hacer un análisis comparativo de precios entre los diseños eléctricos suministrados por red convencional versus fuentes de energías renovables, para dicha comparación se evalúa el diseño eléctrico con

red convencional para concluir el ahorro posterior al cambio de fuentes de energías.

Además, como conclusión principal de este proyecto, se destaca que mediante la tabla 4.30 del análisis de resultados, donde se hace una comparación del valor actual neto, la tasa interna de retorno y el periodo de recuperación, así como por el análisis de la sección 4.9; que el caso más rentable para el proyecto de la unidad de vivienda ubicada en Santa Ana, San José, corresponde al caso 3 el cual presenta un consumo eléctrico de la vivienda de un 49%, un valor actual neto de ₡ 33.224.550 (treinta y tres millones doscientos veinte cuatro mil quinientos cincuenta colones) y una tasa interna de retorno del 24%, la cual es mucho mayor que la tasa de descuento, lo que hace que el proyecto sea rentable, a esto se suma el periodo de recuperación de 7 años, que lo hace aún más atractivo.

Finalmente, la recomendación más atractiva de este trabajo de graduación es que para este proyecto se sugiere utilizar inversores centralizados como lo especifica la tabla 4.18, donde se detallan las ventajas que estos dispositivos suelen tener sobre los micro-inversores centralizados, haciendo una analogía para el caso 3, el cual corresponde al 49% del consumo eléctrico y donde se deben emplear 26 paneles solares y 2 inversores centralizados, mientras si se quiere trabajar con micro-inversores se deben implementar 26 de ellos, siendo esto un detalle importante para la efectiva elección.

**CAPÍTULO 1**  
**INTRODUCCIÓN**

## Introducción

Los sistemas fotovoltaicos permiten la generación de energía a partir de la irradiación solar, estos sistemas son una de las alternativas más interesantes para alimentar sistemas eléctricos- mecánicos, etc. Una de las razones más comunes para implementar el uso de un sistema de paneles solares es, por ejemplo, lograr disminuir la factura eléctrica a gran escala en viviendas de más de 800 m<sup>2</sup>, empresas grandes o cuando se requiere alimentar un dispositivo al cual las redes convencionales no tienen acceso debido a factores como terrenos que imposibilitan el acceso a líneas de transmisión para cubrir la electrificación de una zona determinada.

Entre las numerosas ventajas de un sistema fotovoltaico se destacan las siguientes: Simple instalación del equipo, se emplea una energía limpia amigable con el ambiente, su operación es silenciosa y requiere poco mantenimiento, de ahí la razón por la cual se elige un sistema fotovoltaico.

El presente diseño eléctrico será implementado bajo las normas y artículos del código eléctrico nacional NEC 2008, prevalecen el cual se indica el tipo residencial con un área de 1200 metros cuadrados, ubicada en Santa Ana en el residencial Villa Real, en la provincia de San José; además se diseñará un sistema mecánico, el cual consiste en darle uso al manejo del agua de lluvia para el riego de jardines.

El sistema propuesto anteriormente es un sistema conectado de red para la zona de Santa Ana, San José; la empresa encargada de dar el servicio de suministro y distribución eléctrica le corresponde a la Compañía Nacional de

Fuerza y Luz (CNFL), por lo tanto, será la encargada de la instalar los empalmes de la acometida a la red de distribución.

**Problemática:** ¿Cuál es el diseño eléctrico más adecuado mediante una propuesta de un sistema fotovoltaico y reutilización del agua de lluvia para uso en jardines en una vivienda de 1200 m<sup>2</sup> ubicada en la zona de Santa Ana, San José?

**Objetivo General:** Realizar el diseño eléctrico más adecuado mediante una propuesta de un sistema fotovoltaico y reutilización del agua de lluvia para uso en jardines en una vivienda de 1200 m<sup>2</sup> ubicada en la zona de Santa Ana, San José.

**Objetivos Específicos;**

- Realizar el diseño eléctrico de la unidad de vivienda basado en la normativa vigente NFPA.
- Realizar las diferentes estimaciones para el posible diseño de un sistema fotovoltaico en dicha unidad de vivienda.
- Calcular la inversión económica necesaria para el desarrollo del proyecto (eléctrico –fotovoltaico).
- Realizar el debido análisis financiero para la implementación del uso de fuentes renovables en relación con la red eléctrica convencional.
- Valorar la reutilización del agua de lluvia para el riego de jardines.

## Justificación

La tecnología ha crecido exponencialmente, lo que en el pasado fue innovación, ahora es un simple recuerdo. El diseño eléctrico ha evolucionado a través de los años; en antaño, se trabajaba con papel para los borradores y elaborar los planos, todo a mano, mientras que ahora se utilizan diferentes softwares especializados que permiten el trabajo más preciso, además de que incluyen escalas en razón de la vida real de la instalación eléctrica.

Desde su origen, los diseños eléctricos han evolucionado, en el pasado se solía tener deficiencias grandes respecto a las normas establecidas para un diseño; por esto, el Código Eléctrico Nacional (NEC), se ha ido actualizando para salvaguardar la vida humana en todo momento, antes no se tenían factores de seguridad como los actuales, por lo tanto la vida útil de un diseño eléctrico tendía a disminuir en gran parte, provocando fallos y averías, como por ejemplo, incendios provocados por cortocircuito y elementos no adecuados los cuales hacen que el consumo eléctrico suba paulatinamente, entre otros.

En la actualidad, al contar con una gran gama de normas con los mejores estándares de calidad, se han mejorado y erradicado varios de esos problemas anteriormente mencionados; ahora se pretende ser más eficiente y de paso ayudarle al ambiente con la implementación de diseños eléctricos con fuentes de energías renovables, llámese solar, eólica o geotérmica, entre otras, esto ha venido a satisfacer las necesidades de los clientes y proporciona una mejora al ambiente.

## **Antecedente 1**

TÍTULO: Diseño eléctrico del sistema potencia del edificio la colmena

AUTOR: Keivin Barker F.

INSTITUCIÓN: Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Eléctrica.

FECHA: II semestre 2005

Este proyecto tiene como objetivo realizar un diseño eléctrico y construcción de un sistema de potencia la colmena (originalmente ya diseñado), basado en la norma "NATIONAL ELECTRICAL CODE (NEC 2002)". En él se hará uso de sistemas fotovoltaicos para su alimentación.

Este proyecto se realizó de acuerdo a las necesidades del cliente, el cual estableció como un requerimiento básico de sistemas eléctricos, que tenga la capacidad de ampliaciones futuras, que sea confiable, eficiente con las cargas críticas instaladas y por supuesto que proteja a los equipos instalados.

En él se concluye que el diseño original del edificio no cumplía con las expectativas para albergar una empresa de servicios de apuesta electrónicas; por otra parte, los equipos seleccionados originalmente para brindar y distribuir la energía eléctrica del edificio (transformadores, medidores, transferencias automáticas) no son los indicados para la aplicación eléctrica que va a demandar el edificio. Ahora bien, los equipos calculados en esta investigación tienen como ventaja primordial una adecuada administración de los recursos energéticos, el cual lo hace más eficiente.

## **Antecedente 2**

TÍTULO: Implementación de un Sistema Energético No Convencional Para la Unidad De Cuidados Paliativos (C.P.U) de Alajuela.

AUTOR: Jorge Mario Quirós Campos.

INSTITUCIÓN: Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica.

FECHA: Diciembre del 2004.

Esta investigación tiene como objetivo analizar una alternativa para el ahorro energético por medio de un sistema no convencional de generación eléctrica. Por lo tanto, se hace un análisis de cargas de generación, como también las variables climatológicas y ambientales para dicho proyecto.

De acuerdo a los parámetros calculados en este proyecto, se diseñó el sistema más adecuado para la generación eléctrica, siendo estas necesarias para satisfacer la demanda de las instalaciones de la Unidad de Cuidados Paliativos (CPU).

En el trabajo se concluye que después de un análisis de rentabilidad de una serie de sistemas de energías renovables, como por ejemplo la energía solar, la cual es gratuita, los costos de inversión son altos, aunque estos sean para una aplicación de pequeña magnitud.

Sin duda alguna estos sistemas han venido creciendo exponencialmente con el paso de los años ya que ofrecen una serie de ventajas, las cuales lo hace de

gran interés como, por ejemplo: el ahorro energético y la conservación del medio ambiente.

### **Alcances**

Al final de la investigación se entregará la tesis en su formato digital, donde se incluirá una serie de documentos como lo es el plano eléctrico, la memoria de cálculos de los paneles solares, carga instalada y demanda por el sistema, protecciones eléctricas, así como el análisis de costos del proyecto.

### **Limitaciones**

- Al ser un proyecto el cual aún no se ha construido, se debe estimar el consumo eléctrico de la vivienda por medio de la cantidad de horas de uso y componentes eléctricos, esto con el fin de poder tener parámetros para el cálculo del sistema fotovoltaico a instalar

**CAPÍTULO 2**  
**MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Reglamentación de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables, modelo de contratación medición neta sencilla MINAE N° 39220**

Definiciones:

Generación distribuida para autoconsumo: “la 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 depósito y devolución de energía”.

Autoconsumo: “es el aprovechamiento de la energía generada por parte del productor-consumidor para abastecer de forma exclusiva su propia demanda, en el mismo sitio donde la produce”.

Significados tomados del Decreto MINAE N° 39220

Condiciones

Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables Modelo de Contratación Medición Neta Sencilla MINAE N° 39220:

- Artículo 34. Autorización para almacenamiento y retiro de energía. «El productor-consumidor podrá depositar en la red de distribución la energía no consumida, y tendrá derecho a retirar hasta un máximo del cuarenta y nueve por ciento (49%) de la energía total generada, para utilizarla en el mes o meses siguientes en un periodo anual.»

Resolución RJD-030-2016 de ARESEP, Ajustes a las Normas Técnicas Y Metodologías Tarifarias aplicables a la Generación Distribuida para Autoconsumo

- Artículo 134. Servicios con facturación de demanda, del Capítulo XVI Interconexión, Acceso y Suministro Eléctrico para Abonados-Usuarios-Productores de la Norma AR-NT-SUCOM. «En los servicios que por la característica de la tensión de acceso o por el uso de la energía se facture tanto el cargo por energía como el de potencia, el mismo se realizará de conformidad con la metodología y pliegos tarifarios vigentes, y se clasificará en el bloque de consumo que corresponda, con base en el total de energía retirada de la red de distribución, la cual se entenderá como la sumatoria de la energía retirada del consumo diferido asociado a la generación para autoconsumo en su modalidad contractual medición neta sencilla y la energía vendida por la empresa distribuidora»
- Inciso 2. METODOLOGÍA. «La tarifa de acceso será un pago que se realizará a la empresa distribuidora de energía eléctrica en por parte del productor-consumidor, por cada unidad de energía consumida (kWh) que éste retire de la red, asociada a la energía que previamente había depositado. Por lo tanto, se pagará en los meses en que se dé dicho retiro.»

### **2.3 Norma INTE 31 08-06-2000, segunda edición “Niveles de condiciones de iluminación que deben de tener los centros de trabajo”**

Objetivo;

La presente norma tiene por objeto establecer los niveles y requerimientos de iluminación para los centros de trabajo de tal forma que ésta no sea un factor de riesgo y provoque daños a la salud de los trabajadores al realizar sus actividades.

Campo de aplicación;

Esta norma establece el valor de servicio de la iluminación artificial para distintos tipos de locales, tanto en función del destino del local como de la dificultad de la tarea visual a realizarse.

Para este caso en específico se utilizará el valor de servicio de iluminación artificial tipo residencial, como se detalla a continuación en la siguiente figura.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>INTECO. (2000). NORMA INTE 31-08-06-2000. “Niveles y condiciones de iluminación que deben de tener los centros de trabajo”, Segunda Edición, 25.

**Figura 2.1 Valor mínimo de servicios de iluminación tipo residencial**

<b>Tipo de edificio, local y tarea visual</b>	<b>Valor mínimo de servicio de iluminación (lux)</b>
Depósitos	100
Baños y toillettes: iluminación general	200
Playa de estacionamiento exterior	20
Zona de carga	100
Hangares: iluminación general	200
Reparaciones: iluminación localizada	1000
<b>Estación marítima:</b>	
Pasajeros	200
Cargas	100
<b>Garajes y estaciones de servicio</b>	
Iluminación general	100
Reparación de llantas	200
Estacionamiento	50
Fosas	250 <sup>13</sup>
Salón de venta	400
Almacenaje	100
Accesos	150
Surtidores	200
<b>Lavado:</b>	
Iluminación general	200 <sup>14</sup>
<b>Reparaciones:</b>	
Iluminación general	200
Iluminación localizada	400
<b>Vivienda <sup>15</sup></b>	
<b>Baño:</b>	
Iluminación general	100
Iluminación localizada sobre espejos	200 <sup>16</sup>
<b>Cocina:</b>	
Iluminación sobre la zona de trabajo: cocina, pileta, mesada	200
<b>Dormitorios:</b>	
Iluminación general	200
Iluminación localizada: cama, espejo	200 <sup>2</sup>

Fuente: INTE 31-08-06-2000

## **2.4 Artículos y Normas (ART-NT-POASEN)**

### **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)

**Artículo 124.** Modalidades de generación distribuida para autoconsumo con fuentes 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)

**Artículo 125.** Generación distribuida para autoconsumo en su modalidad de medición neta sencilla.

La actividad de generación distribuida para 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 registrará 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 refiere a su interacción con la red de distribución, estará sujeto a la regulación dictada por la Autoridad Reguladora en esta materia.

**Artículo 127.** Relación empresa distribuidora con productores 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.

**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)

### **Conceptos de facturación;**

- ✓ Energía almacenada; Corresponde a la energía generada por los módulos fotovoltaicos que no fue consumida por el edificio y que es guardada en la red en KWh. Esta se acumula mes a mes hasta el mes de diciembre.
- ✓ Energía generada; Corresponde a la energía generada por los módulos fotovoltaicos producida por mes en KWh.
- ✓ Energía consumida; Corresponde a la energía consumida mensualmente por el edificio en KWh.
- ✓ Energía requerida; Corresponde a la energía que se requiere bajar de la red propia o de la red de la CNFL en KWh para cubrir el consumo mensual del edificio.
- ✓ Energía por subir a la red propia; Corresponde a la energía mensual generada por los módulos fotovoltaicos que no fue consumida en el edificio.
- ✓ Bajada de la red CNFL; Corresponde a la diferencia en KWh entre la energía generada y la energía requerida. En este caso se baja de la red de la CNFL porque no se tiene energía guardada en la red propia, ya que los paneles solares solo generan 75% de la energía requerida.
- ✓ Costo por bajar de la red de la CNFL; Es el costo de la energía bajada de la red de la CNFL es de ₡63,86 según la tarifa de la página de la CNFL al 3 de julio de 2017
- ✓ Cobro por demanda; Es el costo establecido por la CNFL de la energía que tiene que tener disponible para suplir la demanda del edificio.

- ✓ Facturación con paneles; Corresponde al costo de la facturación eléctrica considerando el cobro por demanda y el cobro por bajar de la red propia.
- ✓ Facturación sin paneles; Es el costo de la facturación eléctrica considerando el cobro por demanda y el cobro por bajar de la red de la CNFL.

## **2.5 Artículos del NEC 2008 para el Diseño de Viviendas**

### **2.5.1 Artículo 220.12: Cargas de alumbrado para ocupaciones específicas**

Una carga unitaria no inferior a la que se especifica en la Tabla 220.12 para las ocupaciones específicas aquí debe constituir la carga de alumbrado mínima. El área del suelo de cada piso se debe calcular a partir de las dimensiones exteriores del edificio, unidad de vivienda u otras áreas involucradas. Para las unidades de vivienda, la superficie calculada del suelo no debe incluir los pórticos abiertos, los garajes ni los espacios no utilizados o sin terminar que no sean adaptables para su uso futuro.

NLM: Los valores unitarios incluidos se basan en las condiciones de carga mínima y en un factor de potencia del 100% y puede que no proporcionen capacidad suficiente para la instalación contemplada.

**Figura 2.2 Cargas de alumbrado por tipo de ocupación**

<b>Tipo de ocupación</b>	<b>Carga unitaria</b>	
	<b>Volt-Ampere por metro cuadrado</b>	<b>Volt-Ampere por pie cuadrado</b>
Cuarteles y auditorios	11	1
Bancos	39 <sup>a</sup>	3½ <sup>b</sup>
Barberías y salones de belleza	33	3
Iglesias	11	1
Clubes	22	2
Juzgados	22	2
Unidades de vivienda <sup>a</sup>	33	3
Garajes comerciales (almacenamiento)	6	½
Hospitales	22	2
Hoteles y moteles, incluidos apartamentos sin cocina para los inquilinos <sup>a</sup>	22	2
Edificios industriales y comerciales (áticos)	22	2
Casas de huéspedes	17	1½
Edificios de oficinas	39 <sup>a</sup>	3½ <sup>b</sup>
Restaurantes	22	2
Escuelas	33	3
Tiendas	33	3
Depósitos (almacenamiento)	3	¼
En cualquiera de las ocupaciones anteriores, excepto en viviendas unifamiliares y unidades individuales de vivienda bifamiliares y multifamiliares		
Lugares de reunión y auditorios	11	1
Recibidores, pasillos, armarios, escaleras	6	½
Espacios de almacenamiento	3	¼

<sup>a</sup> Véase la sección 220.14(J)  
<sup>b</sup> Véase la sección 220.14(K)

Fuente: Código Eléctrico Nacional (NEC) 2008

## **2.5.2 Artículo (220.52 A). Cargas de electrodomésticos pequeños y lavandería en unidades de vivienda**

(A) Cargas del circuito de electrodomésticos pequeños.

En cada unidad de vivienda, la carga se debe calcular a 1500 voltamperios por cada circuito ramal bifilar para electrodomésticos pequeños tal como se trata en la sección 210.11(C)(1). Cuando la carga se subdivide entre dos o más alimentadores, la carga calculada para cada uno debe incluir un mínimo de 1500 voltamperios por cada circuito ramal bifilar para electrodomésticos pequeños. Se permitirá que estas cargas se incluyan con la carga de alumbrado general y se les aplique los factores de demanda establecidos en la Tabla 220.42.<sup>2</sup>

## **2.5.3 Artículo (220.52 B). Carga del circuito de Lavandería**

(B) Carga del circuito de lavandería.

Una carga de no menos de 1500 volt-amperes se debe incluir por cada circuito ramal bifilar para lavandería, instalado tal como se trata en la sección 210.11(C)(2). Se permitirá que esta carga se incluya con la carga de alumbrado general y se le apliquen los factores de demanda establecidos en la Tabla 220.42.

## **2.4.4 Artículo (220.42). Factor de demanda de cargas de alumbrado**

Los factores de demanda especificados en la Tabla 220.42 se deben aplicar a la parte de la carga total calculada del circuito ramal para iluminación general.

---

<sup>2</sup>NFPA 70. (2008). National Electrical Code(NEC). Boston,USA.: Copyright.

Esos factores no se deben aplicar para calcular el número de circuitos ramales para iluminación general.

**Figura 2.3 Factores de demanda de cargas por alumbrado**

**Tabla 220.42 Factores de demanda de cargas de alumbrado**

Tipo de ocupación	Parte de la carga de alumbrado a la que se aplica el factor de demanda (Volt-amperes)	Factor de demanda (%)
Unidades de vivienda	Primeros 3000 o menos	100
	De 3001 a 120.000	35
	A partir de 120.000	25
Hospitales *	Primeros 50.000 o menos	40
	A partir de 50.000	20
Hoteles y moteles, incluidos apartamentos sin cocina para los inquilinos*	Primeros 20.000 o menos	50
	De 20.001 a 100.000	40
	A partir de 100.000	30
Depósitos (almacenamiento)	Primeros 12.500 o menos	100
	A partir de 12.500	50
Todos los demás	Volt-amperes totales	100

\*Los factores de demanda de esta Tabla no se deben aplicar a la carga calculada de los alimentadores o acometidas que dan suministro a áreas de hospitales, hoteles y moteles en las que es posible que se deba utilizar toda la iluminación al mismo tiempo, como quirófanos, comedores y salas de baile.

Fuente: Código Eléctrico Nacional (NEC) 2008

### 2.5.5 Artículo (220.53). Cargas de electrodomésticos en unidades de vivienda

Se permitirá aplicar un factor de demanda del 75% a la carga nominal de la placa de características de cuatro o más electrodomésticos fijos en su lugar que no sean estufas eléctricas, secadoras de ropa, equipos de calefacción de ambiente

o de aire acondicionado, servidos por el mismo alimentador o acometida en viviendas unifamiliares, bifamiliares o multifamiliares.

### **2.5.6 Artículo (220.54). Secadoras eléctricas de ropa en unidades de vivienda**

La carga para secadoras eléctricas de ropa en unidades de vivienda debe ser de 5000 watts (volt-amperes) o la capacidad nominal de la placa de características, la que sea mayor, para cada secadora conectada. Se permitirá la aplicación de los factores de demanda de la Tabla 220.54. Cuando dos o más secadoras monofásicas sean alimentadas por un alimentador o acometida trifásica tetrafilar, la carga total se debe calcular con base en el doble del número máximo conectado entre dos fases cualesquiera. Los kilovolt-amperes (kVA) se deben considerar equivalentes a los kilowatts (kW) para las cargas calculadas en esta sección.<sup>3</sup>

### **2.5.7 Artículo (220.55). Estufas eléctricas y otros electrodomésticos de cocción en unidades de vivienda**

Se permitirá que la carga demandada por estufas eléctricas domésticas, hornos de pared, parrillas en mesones y otros electrodomésticos de cocción con capacidad nominal individual superior a 1 ¾ kW, se calcule de acuerdo con la Tabla 220.55. Los kilovolt-amperes (kVA) se deben considerar equivalentes a los kilowatts (kW) para las cargas calculadas según esta sección.

---

<sup>3</sup>NFPA 70. (2008). National Electrical Code(NEC). Boston,USA.: Copyright.

**Figura 2.4 Factores de demanda para estufas eléctricas**

**Tabla 220.55 Factores de demanda y cargas para estufas eléctricas domésticas, hornos de pared, parrillas en mesones y otros electrodomésticos de cocción de más de 1 ¾ kW nominales. (La columna C se aplica en todos los casos, excepto lo permitido de otra forma en la Nota 3).**

Número de electrodomésticos	Factor de demanda (%) (véanse las notas)		
	Columna A (menos de 3 ½ kW nominales)	Columna B (de 3 ½ kW hasta 8 ¾ kW nominales)	Columna C Demanda máxima (kW) (véanse las notas (no más de 12 kW nominales)
1	80	80	8
2	75	65	11
3	70	55	14
4	66	50	17
5	62	45	20
6	59	43	21
7	56	40	22
8	53	36	23
9	51	35	24
10	49	34	25
11	47	32	26
12	45	32	27
13	43	32	28
14	41	32	29
15	40	32	30
16	39	28	31
17	38	28	32
18	37	28	33
19	36	28	34
20	35	28	35
21	34	26	36
22	33	26	37
23	32	26	38
24	31	26	39
25	30	26	40
26-30	30	24	15 kW + 1 kW por cada estufa
31-40	30	22	
41-50	30	20	25 kW + ¼ kW por cada estufa
51-60	30	18	
61 y más	30	16	

Fuente: Código Eléctrico Nacional (NEC) 2008

### 2.5.8 Artículo (220.50 NEC). Motores

Las cargas de motores se deben calcular de acuerdo con las secciones 430.24, 430.25 y 430.26. y con la sección 440.6 para motores de compresores herméticos de refrigeración.

**Figura 2.5 Corrientes a plena carga para motores monofásicos**

**Tabla 430.248 Corrientes de plena carga en amperes para motores monofásicos de corriente alterca**  
 Los siguientes valores de corriente de plena carga corresponden a motores que funcionan a la velocidad usual y motores con características normales de par. Las tensiones enumeradas son las nominales de los motores. Las corrientes enumeradas se permitirán para sistemas con intervalos de tensión de 110 a 120 volts y de 220 a 240 volts.

Caballos de fuerza	115 volts	200 volts	208 volts	230 volts
1/6	4.4	2.5	2.4	2.2
1/4	5.8	3.3	3.2	2.9
1/3	7.2	4.1	4.0	3.6
1/2	9.8	5.6	5.4	4.9
3/4	13.8	7.9	7.6	6.9
1	16	9.2	8.8	8.0
1 1/2	20	11.5	11.0	10
2	24	13.8	13.2	12
3	34	19.6	18.7	17
5	56	32.2	30.8	28
7 1/2	80	46.0	44.0	40
10	100	57.5	55.0	50

Fuente: Código Eléctrico Nacional (NEC) 2008

**Figura 2.6 Corrientes a plena carga motores bifásicos**

**Tabla 430.249 Corriente de plena carga en amperes para motores de dos fases de corriente alterna (tetrafilar)**  
 Los siguientes valores de corriente de plena carga corresponden a motores que funcionan a las velocidades usuales de motores con bandas y a motores con características normales de par. La corriente en el conductor común de un sistema de dos fases trifilar será de 1.41 veces el valor dado. Las tensiones relacionadas son las nominales de los motores. Las corrientes enumeradas se permitirán para sistemas con intervalos de tensión de 110 a 120 volts, 220 a 240 volts, 440 a 480 volts y 550 a 600 volts.

Caballos de fuerza	Tipo de inducción de jaula de ardilla y de rotor devanado (amperes)				
	115 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2300 volts
½	4.0	2.0	1.0	0.8	—
¾	4.8	2.4	1.2	1.0	—
1	6.4	3.2	1.6	1.3	—
1 ½	9.0	4.5	2.3	1.8	—
2	11.8	5.9	3.0	2.4	—
3	—	8.3	4.2	3.3	—
5	—	13.2	6.6	5.3	—
7 ½	—	19	9.0	8.0	—
10	—	24	12	10	—
15	—	36	18	14	—
20	—	47	23	19	—
25	—	59	29	24	—
30	—	69	35	28	—
40	—	90	45	36	—
50	—	113	56	45	—
60	—	133	67	53	14
75	—	166	83	66	18
100	—	218	109	87	23
125	—	270	135	108	28
150	—	312	156	125	32
200	—	416	208	167	43

Fuente: Código Eléctrico Nacional (NEC) 2008

**Figura 2.7 Corrientes a plena carga motores trifásicos**

**Tabla 430.250 Corriente de plena carga de motores trifásicos de corriente alterna**  
 Los siguientes valores de corrientes de plena carga son típicos para motores que funcionan a las velocidades usuales de motores con bandas y motores con características normales de par.  
 Las tensiones enumeradas son las nominales de los motores. Las corrientes enumeradas se permitirán para sistemas con intervalos de tensión de de 110 a 120 volts, 220 a 240 volts, 440 a 480 volts y 550 a 600 volts.

Caballos de fuerza	Tipo de inducción de jaula de ardilla y de rotor devanado. (amperes)							Tipo sincrónico de factor de potencia unitario* (amperes)			
	115 volts	200 volts	208 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2 300 volts	230 volts	460 volts	575 volts	2 300 volts
½	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	—	—	—	—	—
¾	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	—	—	—	—	—
1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	—	—	—	—	—
1 ½	12.0	6.9	6.6	6.0	3.0	2.4	—	—	—	—	—
2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	—	—	—	—	—
3	—	11.0	10.6	9.6	4.8	3.9	—	—	—	—	—
5	—	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	—	—	—	—	—
7 ½	—	25.3	24.2	22	11	9	—	—	—	—	—
10	—	32.3	30.8	28	14	11	—	—	—	—	—
15	—	48.3	46.2	42	21	17	—	—	—	—	—
20	—	62.1	59.4	54	27	22	—	—	—	—	—
25	—	78.2	74.8	68	34	27	—	53	26	21	—
30	—	92	88	80	40	32	—	63	32	26	—
40	—	120	114	104	52	41	—	83	41	33	—
50	—	150	143	130	65	52	—	104	52	42	—
60	—	177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
75	—	221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
100	—	285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
125	—	359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
150	—	414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
200	—	552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
250	—	—	—	—	302	242	60	—	—	—	—
300	—	—	—	—	361	289	72	—	—	—	—
350	—	—	—	—	414	336	83	—	—	—	—
400	—	—	—	—	477	382	95	—	—	—	—
450	—	—	—	—	515	412	103	—	—	—	—
500	—	—	—	—	590	472	118	—	—	—	—

\*Para factores de potencia de 90 por ciento y 80 por ciento, las cifras anteriores se deben multiplicar respectivamente por 1.1 y 1.25.

Fuente: Código Eléctrico Nacional (NEC) 2008

## 2.5.9 Selección de conductores eléctricos

En el artículo (310.16) del código eléctrico nacional (NEC), se detalla los conductores eléctricos de acuerdo a una serie de factores como lo son; la temperatura, el amperaje, material, aislamiento etc. Bajo esos parámetros anteriormente mencionados se elige el conductor adecuado para su respectiva aplicación.

**Figura 2.8 Ampacidades permisibles en conductores aislados**

**Tabla 310.16 Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de 0 a 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 [Véase la Tabla 310.13(A)]						Calibre AWG o kcmil
	60° C (140° F)	75° C (167° F)	90° C (194° F)	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	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE				
18	—	—	14	—	—	—	—
16	—	—	18	—	—	—	—
14*	20	20	25	—	—	—	—
12*	25	25	30	20	20	25	12*
10*	30	35	40	25	30	35	10*
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	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	190	230	255	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

Fuente: Código Eléctrico Nacional (NEC) 2008

Mediante la tabla anterior se eligen los conductores eléctricos adecuados de acuerdo a la corriente que circula en ellos.<sup>4</sup>

<sup>4</sup>NFPA 70. (2008). National Electrical Code(NEC). Boston,USA.: Copyright.

## **2.6 Componentes de una Instalación Eléctrica, Tipo Residencial**

### **2.6.1 Medidores Bidireccional**

Este tipo de medidor, además de poder medir el consumo de energía eléctrica de la compañía girando en el sentido normal puede girar de manera contraria, haciendo posible que la empresa que brinda el servicio de suministro eléctrico reste a nuestro recibo la energía que estamos generando y sume a nuestro favor la energía de exceso, lo que evitaría la instalación de un almacén de electricidad.

Un medidor bidireccional funciona de la siguiente forma: durante el día producimos energía eléctrica con nuestros paneles solares fotovoltaicos, el medidor se encarga de calcular esta energía y restarla al consumo del servicio de luz. Cuando la energía resulta en excedente podemos utilizarla por la noche o en caso contrario de haber utilizado más energía de la producida, puedes volverte a conectar al servicio de la comisión de electricidad. Y en el mejor de los casos, al fin de mes haber producido un excedente de energía que podrás utilizar en los próximos 12 meses.

Un medidor bidireccional es la mejor opción para las personas que quieren comenzar a utilizar la energía fotovoltaica como fuente de electricidad, pues es la manera más práctica de conocer el ahorro económico de la energía solar y obtener una bonificación tangente del provecho que se le está dando a los paneles.

**Figura 2 9. Medidor bidireccional**



Fuente; ICE

### **2.6.2 Protección con interruptor de circuito por falla a arco (AFCI)**

De acuerdo al NEC en el Artículo 210.12(A), Se define de la siguiente manera el termino AFCI; “Un interruptor de circuito por falla de arco (AFCI) es un dispositivo destinado a brindar protección contra los efectos de falla de arco, mediante el reconocimiento de las características únicas de la formación del arco y mediante su funcionamiento para desenergizar el circuito cuando se detecta la falla de arco”

Para la unidad de vivienda se tienen áreas destinadas en donde se hace uso de este interruptor de acuerdo al Código; “Todos los circuitos ramales que alimentan salidas monofásicas de 120 volts, 15 y 20 amperes instaladas en habitaciones familiares, comedores, salas de estar, salones, bibliotecas, cuartos de estudio, alcobas, solarios, salones para recreación, armarios, pasillos o habitaciones o áreas similares en unidades de vivienda, se deben proteger con un interruptor listado de circuito por fallas de arco, tipo combinación, instalado para brindar protección al circuito ramal

### **2.6.3 Protección con interruptor de circuito por falla a tierra (GFCI)**

En el código eléctrico nacional (NEC), se detalla donde se debe tener un interruptor por falla a tierra en las unidades de vivienda; “Todos los receptáculos monofásicos de 125 volts y de 15 y 20 amperes, instalados en los lugares que se especifican como lo son; cuarto de baños, garajes, áreas de trabajo, áreas exteriores, deben tener protección para las personas mediante un interruptor de circuito por falla a tierra”

### **2.6.4 Conductores Eléctricos**

#### **2.6.4.1 Cable THHN**

Este tipo de conductor de cobre es esencial en circuitos de fuerza, es muy utilizado en edificaciones industriales, comerciales y residenciales. Son aptos para su utilización en ambientes hostiles como también para instalaciones en donde se tienen ductos difíciles. Existen dos tipos de THHN, el primero mencionado el cual es para ambientes secos como máximo en una temperatura de operación de 90 grados como lo especifica en código eléctrico

nacional(NEC), en el caso del THHN-2 este conductor se puede utilizar tanto en ambientes secos, como húmedos con temperatura máxima de 90 grados al igual que el THHN.

#### Especificaciones THHN

Los conductores anteriormente expuestos tienen una serie de especificaciones y normas las cuales se detallan en el siguiente espacio;

- ASTM B-3: Alambre de cobre recocido y suave.
- ASTM B-8: Conductores Trenzados de cobre en capas concéntricas, duro, semiduro o suave.
- UL-83: Alambres y cables aislados con material termoplástico.
- NEMA WC-5: Alambres y cables aislados con material termoplásticos, (ICEA S-61-402) para transmisión y distribución de energía eléctrica.

**Figura 2 10. Conductor THHN**



Fuente; <http://electrocable.com/productos/cobre/THHN.html>

#### **2.6.5 Centros de carga**

El centro de carga es un tablero metálico el cual consiste en una cantidad determinada de pastillas termo magnéticas, estas tienen como función proteger, desconectar o abrir el circuito cuando el mismo se encuentre bajo el aumento

de la intensidad de la corriente eléctrica como por lo es un cortocircuito u otra alteración.

### **2.6.5.1 Fases**

Existen dos tipos de tableros;

Monofásicos: Sistema eléctrico formado solamente por una fase.

Trifásico: Sistema eléctrico formado por tres fases.

Por esta razón son capaces de soportar pastillas termomagnéticas monopolares, bipolares o tripolares.

### **2.6.5.2 Tipos**

Existen tres tipos de centros de carga; Interruptor principal, Zapata principal y convertible.

Interruptor principal: Este interruptor es que alimenta a todo el sistema eléctrico, puede conectar o desconectar toda la energía eléctrica de la edificación llámese; comercial, industrial o residencial.

Zapata principal: No contiene interruptor de circuito principal para protegerse así mismo. Se protege gracias a un interruptor que se encuentra en un panel corriente arriba.

Convertible: Este centro de carga se suministra sin zapatas ni interruptores.

## **2.6.6 Iluminación**

### **2.6.6.1 Tipos de iluminación**

Lámpara incandescente: De acuerdo a los principios físicos, se denomina a todo lámpara incandescente, bombilla, lamparita o bombita de luz al dispositivo

que produce luz mediante el calentamiento por Efecto Joule de un filamento metálico, hasta ponerlo al rojo blanco, mediante el paso de corriente eléctrica.

Lámpara fluorescente: Este tipo de luminaria son de mercurio básicamente lo que ocurre es una descarga del mismo a baja presión produciendo así radiaciones ultravioletas por el efecto de descarga, lo que hace que a su vez active los polvos fluorescentes, y esta transforma la radiación ultravioleta en irradiación visible.

### **Figura 2.11 Lámpara fluorescente**



Fuente: <http://www.solar-kit.com/Lampara-Fluorescente-DC-Compacta-9W-12Vdc-5>

### **2.6.7 Sistemas Puesta a Tierra**

Este sistema tiene como objetivo primordial brindar un punto de descargas eléctricas para las partes que no poseen corriente, el correcto funcionamiento de este sistema nos garantiza la seguridad a todos los usuarios.

#### Objetivos de la puesta a tierra

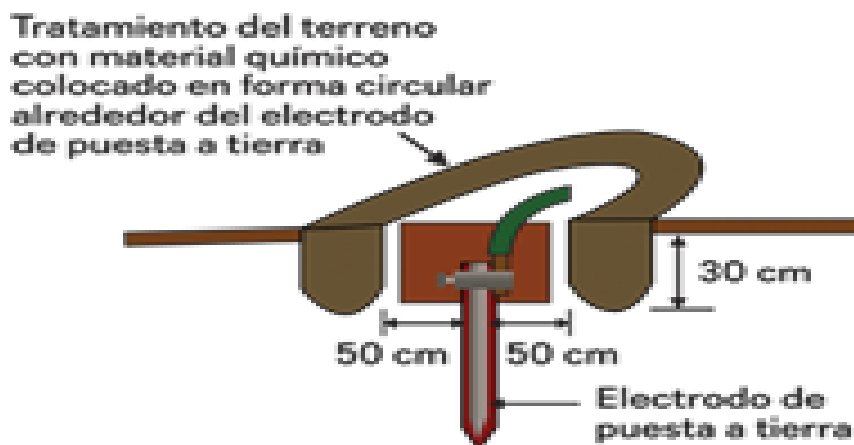
- Estabilizar el voltaje a tierra.

- Proveer un buen camino para que circule de la mejor manera la corriente eléctrica de falla a tierra.

### Beneficios de tener una puesta a tierra

- Protege al usuario de una descarga y también a una pérdida catastrófica de equipos instalados en la edificación.
- Ahorro de presupuesto al evitar fallas.

**Figura 2.12 Sistema puesta a tierra**



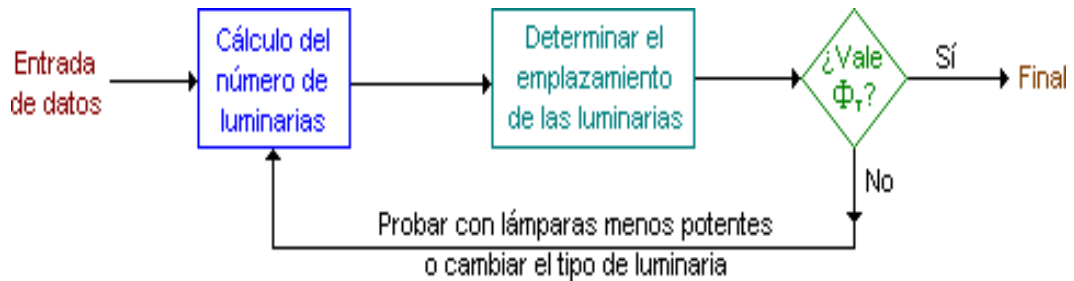
Fuente: <https://constructorelectrico.com/puesta-a-tierra-de-sistemas electricos/>

### **2.7 Método de Lúmenes**

La finalidad de este método es calcular el valor medio en servicio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general. Es muy práctico y fácil de usar, y por ello se utiliza mucho en la iluminación de interiores cuando la precisión necesaria no es muy alta como ocurre en la mayoría de los casos.

El proceso a seguir se puede explicar mediante el siguiente diagrama de bloques:

**Figura 2.13 Diagrama de bloques método lúmenes**



Fuente: <http://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>

### 2.8.1 Cálculos método lúmenes.

Ecuación 2.1 método lúmenes.

$$\text{Cantidad de luminarias} = \frac{E \times \text{Area}}{\text{FL} \times 0,7}$$

Donde;

E= Norma Inteco (20-200 luxes) 1lux= Lumen/m<sup>2</sup>

FL= Flujo luminoso de la lámpara a utilizar

A= Área del recinto

## 2.8 Caída de Voltaje

Es cuando el voltaje baja por efecto de la resistencia o bien por calentamiento del conductor, esto se da debido a que por el conductor circula una corriente mayor a la puede soportar, por ende, se produce el aumento de temperatura por el efecto joule y cae la tensión.

Ecuación 2.2 Caída de tensión para cargas monofásicos de Corriente

Alterna

$$\Delta V\phi = \frac{2 \times R \times L \times I}{1000}$$
$$\Delta V\% = \frac{\Delta V\phi}{120 \text{ o } 240} \times 100$$

Fuente; NEC (2008)

Donde;

$\Delta V\phi$  = Caída de tensión (V)

R = Resistividad del conductor ( $\Omega/m$ )

L = Distancia de la carga en pies (pies)

I = Corriente monofásica por el conductor (A)

120 o 240 = Depende directamente de que voltaje este alimentado en conductor.

## **2.9 Generación fotovoltaica**

El efecto fotovoltaico se basa en la capacidad de los electrones de un material para excitarse y promocionar a un nivel energético superior. La diferencia entre los niveles, denominada gap, puede salvarse en determinados materiales denominados semiconductores mediante los fotones que componen la radiación solar.

Hasta época muy reciente el desarrollo de esta tecnología estaba basado, casi exclusivamente, en la obtención de materiales que permitieran una mejor eficiencia en la conversión de la energía solar en energía eléctrica. Actualmente los últimos desarrollos pasan por las células multifunción, que apilan células con distinto gap, o la concentración, que enfoca la radiación solar hacia una zona específica, de forma que la cantidad de material semiconductor sea menor.

Se trata de una tecnología que depende mucho de la investigación, principalmente en los materiales utilizados, por lo que en el futuro se prevé un aumento del rendimiento de las placas y, por lo tanto, una reducción de los costes. Según los estudios realizados por APPA, antes de 2015 la generación autóctona de energía eléctrica mediante fotovoltaica será más económica que su adquisición en la red eléctrica.

**Figura 2.14 Sistema Fotovoltaico**



Fuente: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>

## **2.10 Radiación Solar en Costa Rica**

### Potencial termoeléctrico:

Los valores promedio anuales de radiación directa obtenidos en este estudio para las distintas regiones de Costa Rica se encuentran por debajo del umbral mínimo requerido de 1 800 KWh/m<sup>2</sup>\*año. De acuerdo al alcance de la investigación, no existe potencial generalizado en nuestro país para desarrollos solares termoeléctricos. Sin embargo, sitios puntuales con características especiales de radiación, podrían ser objeto de estudios específicos en el futuro, a fin de determinar la viabilidad de este tipo de desarrollos en dichos sitios. (Grupo Ice).<sup>5</sup>

### Potencial técnico fotovoltaico:

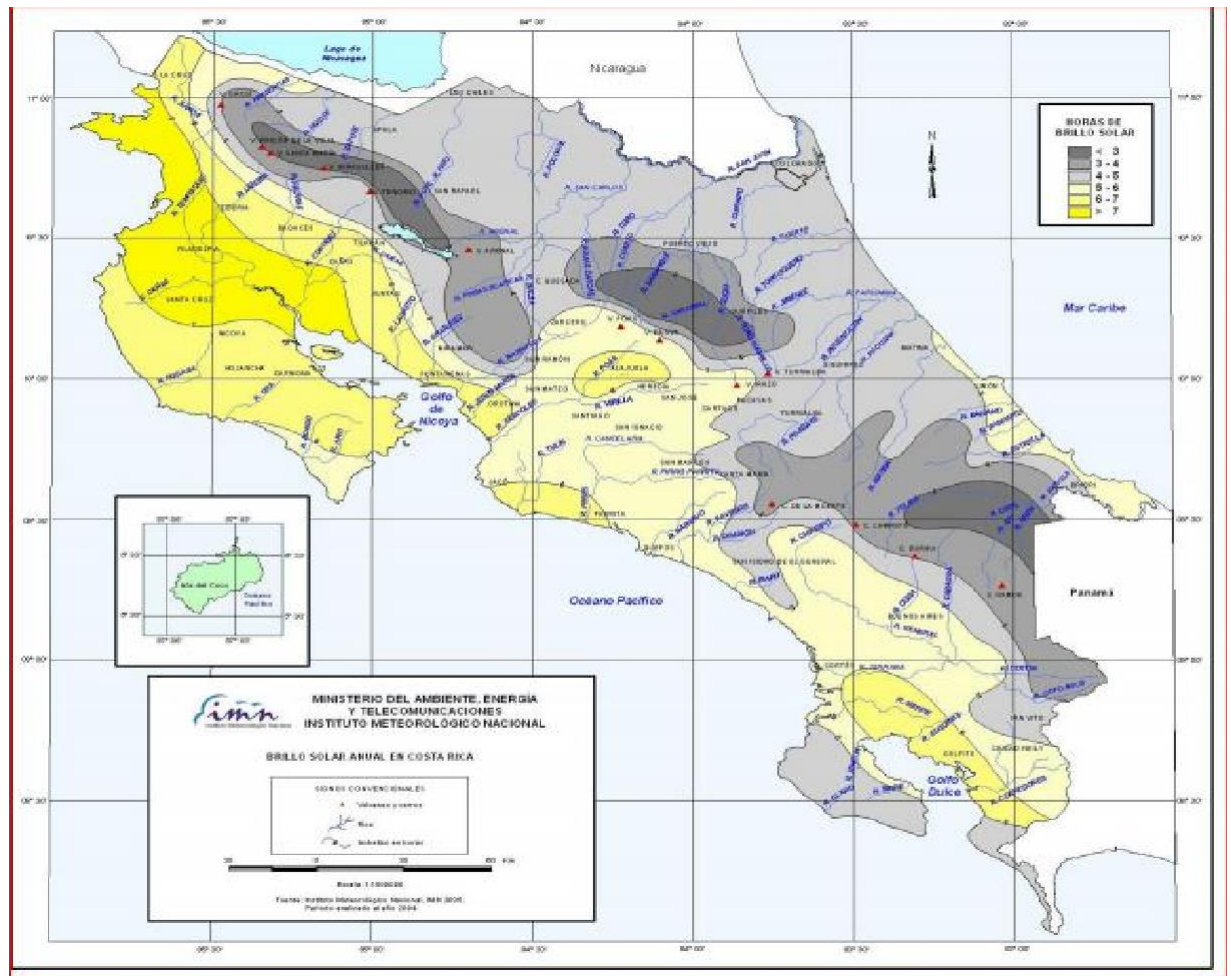
Suponiendo que tan solo un 1% del área sin restricciones de nuestro país pudiese ser dedicada a proyectos solares fotovoltaicos, resultaría un potencial

---

<sup>5</sup> Asociación de Empresas de Energía Renovables. (2009). ¿Qué es la energía fotovoltaica? 29/12/20017, de APPA Sitio web: <http://www.appa.es/09fotovoltaica/09tecnologia.php>

de 5 767 MW. Considerando un 0,1 % del área sin restricciones, se tendría un potencial técnico disponible de 577 MW. (aun considerando áreas de aprovechamiento bastante conservadoras resultaría un potencial solar sumamente significativo). (Grupo Ice).

**Figura 2.15 Brillo solar anual en Costa Rica**



FUENTE: IMN

### 2.10.1 Elementos de un sistema Fotovoltaico

- 1) Paneles solares; Es un dispositivo que tiene como objetivo captar la energía de la irradiación del sol por medio de sus celdas para su aprovechamiento.

**Figura 2.16 Sistema de paneles solares**



Fuente: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>

- 2) Inversor: Este elemento permite convertir la corriente continua (CC) en alterna (CA), dado que los sistemas fotovoltaicos nos entregan corrientes continuas es necesario realizar esta conversión para la utilización de los aparatos eléctricos comunes.

### **2.11 Cálculo de módulos fotovoltaicos**

Mediante la siguiente fórmula se calculará la cantidad de paneles necesarios para satisfacer la carga demanda del sistema, las cuales dependen directamente de las condiciones climatológicas de la zona donde se instalarán los paneles solares.

Ecuación 2.4 Ecuación de cálculo de módulos fotovoltaicos

$$NP = \frac{E}{0.9 \times Wp \times hsp}$$

**Fuente: Quintanilla, 2017, p 46.**

Donde:

E= Consumo energético diario en Watts

Wp= Potencia pico del panel

HSP= Horas solar pico

0,9= Coeficiente de rendimiento del panel, típicamente (0,85-0,9 al descontar las pérdidas)

### **2.11.1 Cálculo de arreglos de paneles solares**

En el siguiente cálculo se determinará la cantidad de filas y columnas respectivamente de cada arreglo de paneles solares. Donde la ficha técnica del panel e inversor son de mucha importancia para el cálculo respectivo.

Ecuación 2.5 Calculo de filas en serie

$$\text{número de filas en serie} = \frac{V_{inv}}{V_m}$$

**Fuente; Quintanilla, 2017, p 46**

Ecuación 2.6 Cálculo de columnas en paralelo

$$\text{número de columnas en paralelo} = \frac{I_{inv}}{I_m}$$

**Fuente: Quintanilla, 2017, p 46**

### **2.11.2 Cálculo del ángulo de inclinación**

Para un máximo desempeño del panel solar, se debe de cumplir con una serie de factores, los cuales favorecen de alguna u otra manera a la producción de energía, por lo que se debe tener en cuenta el ángulo de inclinación de cada módulo fotovoltaico, siendo este último importante en condiciones climatológicas como lo es la irradiación solar. Por ello en la fórmula siguiente se pretende maximizar la irradiación sobre los paneles solares.

Ecuación 2.7 Cálculo del ángulo de inclinación paneles solares

$$I_m = (|\varphi| + 10^\circ)$$

**Fuente: Quintanilla, 2017 p 45.**

Donde:

$I_m$  = Máximo inclinación en grados

$\varphi$  = Es la latitud del lugar en donde se van a instalar los paneles solares.

### **2.12 Sistema de aprovechamiento del agua de lluvia**

La humanidad se enfrenta, de forma alarmante, a una carencia de agua, provocada por una variedad de causas. Por un lado, los malos hábitos de

gestión del agua; por otro, por la modificación de los patrones de lluvias, derivadas del cambio climático; y por otro, el constante y descontrolado aumento de la población mundial. Se ha llegado a un extremo en el que actualmente el abastecimiento del agua se ve dificultado y comprometido en muchas poblaciones del mundo en las que antes no existía ese problema. En muchas zonas urbanas y rurales, el abastecimiento de agua llega a verse restringido temporalmente o de forma continua por la carencia del líquido.

El futuro proyectado no es muy esperanzador al respecto. Algunos especialistas llegan a afirmar incluso que en el futuro las guerras entre los pueblos serán por el agua.

¿Qué es la captación de agua?

Recoger el agua de lluvia supone utilizar el espacio de los tejados y cubiertas de un edificio para captar el agua que precipita desde el cielo. Esta agua será canalizada, filtrada y almacenada en un gran depósito o aljibe para su posterior uso cuando sea necesario.

Figura 2 17. Sistema de aprovechamiento del agua de lluvia



Fuente: Sitio Solar

El sistema de captación consta de los siguientes elementos:

**Área de captación:** Consistente normalmente en el tejado y las cubiertas, así como de cualquier superficie impermeable.

**Conductos de agua:** Consiste en los ductos que van desde el área de captación hasta el depósito respectivamente. Se deben de dimensionar correctamente para el correcto flujo de agua y así evitar el desperdicio del líquido<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup>SitioSolar. (2013). Los sistemas de recolección de agua lluvia. 06/02/2018, de Portal de energías renovables Sitio web: <http://www.sitiosolar.com/los-sistemas-de-recoleccion-de-agua-de-lluvia/>

**Filtros:** Se utilizan para eliminar el polvo y las impurezas que se encuentran en el agua. Existen múltiples sistemas de filtrado que van desde la simple eliminación de impurezas hasta las más grandes, estos sistemas permiten la potabilización y el pleno uso del agua.

**Depósitos:** Son los espacios en los que queda almacenada el agua recolectada. Serán de diferentes tamaños en función del agua que se pueda y quiera almacenar. Las paredes del depósito deben ser de materiales que permitan la correcta conservación del agua.

**Sistemas de control:** Estos son sistemas opcionales que gestionan la alternancia de la utilización del agua de la reserva y de la red general. Es decir, cuando el agua de lluvia se acaba pasa automáticamente a suministrar agua de la red. En el momento que vuelve a llover y se recarga el depósito pasa de nuevo a emplear el agua de la red.

#### 2.12.1 Beneficios de recolección de agua de lluvia

- Supone un auto-suministro gratuito de un tipo de agua de gran calidad que permite obtener una independencia parcial o incluso total de las redes de suministro público
- Puede ayudar a aliviar de forma importante el exceso de la demanda de las redes de suministro público, contribuyendo a la mejor conservación de las reservas públicas para casos de escasez.

- Supone un ahorro energético importante al no tener que emplear electricidad para bombear al menos una parte del agua que se va a usar desde las reservas a cada casa. El bombeo de agua para las zonas urbanas consume grandes cantidades de energía que se ahorrarían en caso de que parte del suministro fuera autónomo en cada casa.
- Puede ayudar a permitir la recuperación de los acuíferos subterráneos en las zonas urbanas en las que la obtención principal del agua provenga de ellos. Al emplearse el agua de la lluvia se deja de extraerla del subsuelo y con ello se permite su recuperación.

### **2.13 Artículos del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones 2017 del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA)**

#### **Capítulo 9; Normas para sistemas de Recolección y Evacuación de agua de lluvia.**

##### **9.1 Normas generales;**

###### **2.13.1 Artículo 9.1-1**

Las aguas de lluvia provenientes de techos, azoteas y áreas pavimentadas o impermeables de las edificaciones deberán conducirse a los sistemas públicos de recolección de aguas de lluvia utilizando un sistema de recolección independiente al de las aguas residuales. La excepción es cuando las aguas de lluvia de una vivienda unifamiliar podrán ser descargadas hacia la calle pública, solamente cuando no se provoque inconvenientes a otros vecinos ni ocasione contaminación.

### **2.13.2 Artículo 9.1-2**

No se permitirá descargar las aguas pluviales a la red pública de alcantarillado sanitario ni a la red de evacuación de aguas residuales de la edificación.

### **2.13.3 Artículo 9.1-4**

Para los sistemas de recolección y evacuación de aguas de lluvia se recomienda realizar diseños de bajo impacto, los cuales pretenden aumentar los tiempos de entrada a los sistemas pluviales, con el fin de disminuir los caudales dentro de los mismos. Algunas maneras de lograr esto es utilizando biorretenedores, almacenado el agua de lluvia en áreas inundables como plazas, parques, parques perimetrales y lagos intermitentes, entre otras.

## **9.2 Materiales para tuberías y accesorios para desagüe pluvial.**

### **2.5.4 Artículo 9.2-1**

En los conductos de desagüe para aguas de lluvia situados en el interior de las edificaciones deberán utilizarse tuberías de hierro dúctil, de cloruro de polivinilo (PVC) u otros materiales resistentes a la corrosión, con previa aprobación de la autoridad sanitaria. Los bajantes de agua de lluvia colocados exteriormente a las paredes podrán ser hierro dúctil o de láminas de hierro galvanizado. Las tuberías de PVC se podrán utilizar siempre que no estén directamente expuestas a la luz solar, pudiendo protegerse con pintura.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2017). Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones. LA GACETA, 2, 222. 08/02/2018, De Scribd Base de datos.

### **2.13.5 Artículo 9.2-2**

Las canoas o canales colectores de los techos y azoteas dentro del área de la edificación podrán ser de láminas de hierro galvanizado, PVC u otros materiales adecuados para tal fin.

### **2.13.7 Artículo 9.2-5**

Las tuberías y accesorios para desagüe de aguas de lluvia deberán cumplir con las normas estipuladas en la sección 7.2.

## **Capítulo 7.2 Materiales para Tuberías de Desagües, tubos de ventilación, sus uniones y conexiones**

### **2.13.8 Artículo 7.2-1**

En los conductos para desagüe de aguas residuales, domiciliarias o industriales deberán utilizarse tuberías de los siguientes materiales, según las indicaciones de los artículos siguientes.

- Hierro fundido
- PVC (DWV)
- Acero galvanizado
- Polietileno
- Concreto
- Polipropileno

### **2.13.9 Artículo 7.2-2 Acero galvanizado.**

Se permitirá el uso de tuberías y piezas de conexión de acero o de hierro forjado galvanizados para conductos o ramales de desagüe, bajantes y alcantarillado sanitarios de la edificación, siempre que se usen con las correspondientes conexiones para desagüe de los mismos materiales y que no

se coloquen bajo tierra. Se deberán mantener a una altura sobre el suelo de al menos quince centímetros (0,15 m).

#### **2.13.12 Artículo 7.2-5**

Las tuberías de desagüe que conduzcan líquidos corrosivos y las correspondientes tuberías de ventilación serán construidas de material resistente a la corrosión.

#### **2.13.13 Artículo 7.2-6**

Para todos los diferentes tipos de tuberías, conexiones y accesorios, con la salvedad de las fabricadas en PVC y CPVC, mientras no estén vigentes en el país normas técnicas industriales para los diferentes tipos de tuberías, conexiones y accesorios, se considerarán de calidad satisfactoria si cumplen con las especificaciones más recientes de entidades calificadas tales como:

- American Water Works Association (AWWA)
- American Standards Association (ASA)
- American Society for Testing and Materials (ASTM)
- British Standards Institute (BSI)
- International Organization for Standardization (ISO)
- Deutsche Institute für Normung (DIN).

En el caso de tuberías de PVC, se deberá cumplir con la correspondiente de las siguientes normas, según sea el caso:

- ASTM D 3034 tubería y accesorios de PVC para alcantarillado sanitario.
- ASTM D 2665 tubería y accesorios de PVC para drenaje, sistemas sanitarios y ventilación (DWV).
- ASTM D 3350 tubería y accesorios de polietileno.

- ASTM F-949. tubería y accesorios de PVC de pared corrugada (estructurada) con interior liso.

#### **2.13.14 Artículo 7.2-7 Uniones**

Las uniones para las tuberías de desagüe y ventilación deberán estar de acuerdo con la clase y tipo de las tuberías respectivas, y deberán garantizar la estanqueidad del sistema.

#### **2.13.15 Artículo 7.2-8 PE**

Las tuberías de polietileno se podrán exponer a la radiación ultravioleta, siempre y cuando estas sean estabilizadas por medio de carbono negro bien dispersado en un compuesto, en una concentración no menor al 2%.

#### **2.13.16 Artículo 7.2-9 PVC**

Las tuberías de PVC podrán estar expuestas al ambiente, siempre y cuando estén en una zona no expuesta a daño físico y sean protegidas de los rayos ultravioleta.

### **9.3 Normas para el cálculo de las tuberías de desagüe pluvial**

#### **2.13.17 Artículo 9.3-1**

Para la determinación de los caudales de diseño de los sistemas de desagüe de aguas pluviales en las edificaciones se recomienda el uso del método racional:

Ecuación 9.3.1

$$Q = \frac{CIA}{3600}$$

Fuente: Código de Instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones (CFIA)

Donde:

Q= Caudal de diseño de la tubería, bajante o canal de desagüe (L/s).

I= Intensidad de la lluvia (mm/hora).

A= Área de drenaje de tributaria (m<sup>2</sup>).

C= Coeficiente de escorrentía superficial (adimensional)

Para la determinación de los parámetros anteriores se recomiendan los valores dados a continuación.

**Figura 2.18 Coeficiente de escorrentía superficial**

Tipo de área o zona	C	Tipo de superficie		C		
Comercial céntrico	0,70 a 0,95	Sin pavimentar		0,10 a 0,30		
Comercial periférico	0,50 a 0,70	Pavimentos	Asfálticos	0,85 a 0,90		
Oficinas comerciales	0,50 a 0,70		Mezclas bituminosas	0,90 a 1,00		
Industrial espaciada	0,50 a 0,80		Adoquinado	Ordinario	0,50 a 0,70	
Industrial densa	0,60 a 0,90			Rejuntado	0,80 a 0,85	
Residencial unifamiliares	0,30 a 0,50			Con juntado	Estancas	0,70 a 0,80
Residencial multifamiliar espaciada	0,40 a 0,60					
Residencial multifamiliar densa	0,60 a 0,75		Empedrado	Ordinario	0,15 a 0,30	
Residencial semiurbana	0,25 a 0,40			De mosaico	0,40 a 0,50	
Deportivas	0,20 a 0,35		Macadán	Ordinario	0,25 a 0,50	
Parques	0,20 a 0,35			Bituminoso	0,70 a 0,90	
Estaciones ferrocarril	0,20 a 0,40		Hormigón		0,90 a 1,00	
Condominios	0,40 a 0,60		Ladrillo		0,70 a 0,95	
Apartamentos	0,60 a 0,80		Grava		0,20 a 0,30	
Cementerios	0,20 a 0,35		Cubiertas	Techos	0,80 a 0,95	

Fuente: Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones (CFIA)

- a. Coeficiente de escorrentía: Para la estimación del coeficiente de escorrentía se recomiendan los valores indicados en la tabla 9.1; sin embargo, el profesional responsable del diseño podrá utilizar otros valores aceptados por las buenas prácticas de la profesión. Los valores

indicados en la tabla 9.1 corresponden a periodos de retorno iguales o inferiores a diez años. Tormentas menos frecuentes con intensidades mayores requieren la modificación del coeficiente de escorrentía debido a que la infiltración y otras pérdidas tienen un efecto proporcionalmente menor en la escorrentía. El ajuste del coeficiente de escorrentía para tormentas mayores se puede hacer al multiplicar el valor de C por el valor del factor de frecuencia  $C_f$  indicado en la tabla 9.2. El producto de  $C \times C_f$  no debe exceder la unidad (1,00).

**Figura 2 19. Factores de frecuencia para el coeficiente de escorrentía**

Período de retorno (años)	Factor de frecuencia $C_f$ (-)
25	1,10
50	1,20
100	1,25

Fuente: Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones (CFIA)

- b. Intensidad de la lluvia: La intensidad de la lluvia es función de la frecuencia o periodo de retorno de la tormenta o aguacero de diseño y de su duración. En el caso crítico, la duración de la lluvia se toma igual al tiempo de concentración del área tributaria. La intensidad de la precipitación se estimará a partir de la curva de intensidad-duración-frecuencia (curva IDF) correspondiente a la estación meteorológica que el profesional responsable del diseño del sistema de desagüe pluvial, a través del estudio hidrológico correspondiente, considere como representativa para el área del proyecto. En caso de que las curvas IDF

de la estación no estén disponibles se podrán utilizar los valores que se indican en las tablas 9.3 y 9.4.<sup>8</sup>

**Figura 2.20 Intensidad de lluvia (mm/hr) para un periodo de retorno de 10 años**

Región climática	5 minutos	10 minutos	15 minutos	30 minutos
Caribe	240	185	175	140
Norte	200	175	160	130
Valle Central	265	210	180	140
Pacífico Norte	285	200	180	135
Pacífico Central	275	220	200	150
Pacífico Sur	285	225	190	145

Fuente: Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones (CFIA)

**Figura 2.21 Intensidad de lluvia (mm/hr) para un periodo de retorno de 25 años**

Región climática	5 minutos	10 minutos	15 minutos	30 minutos
Caribe	275	205	190	160
Norte	235	200	185	150
Valle Central	310	245	210	160
Pacífico Norte	340	235	205	160
Pacífico Central	320	250	225	170
Pacífico Sur	335	255	215	165

a. Periodo de retorno. La frecuencia o periodo de retorno del aguacero de diseño se determinará de acuerdo con los danos, perjuicios o molestias que inundaciones periódicas puedan ocasionar a los ocupantes de la edificación. Se recomienda utilizar como mínimo un periodo de retorno de 10 años.

<sup>8</sup> Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2017). Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones. LA GACETA, 2, 222. 08/02/2018, De Scribd Base de datos.

### 2.13.18 Artículo 9.3-2

Para la determinación de los diámetros de los conductos y canaletas horizontales de desagüe de aguas de lluvia se seguirán las indicaciones de la sección 7.3.3. Se aceptará en este caso que para el caudal de diseño la descarga llene como máximo 3/4 partes de la altura del colector o canal de desagüe

### 2.13.19 Artículo 9.3-3

Para la determinación de los diámetros de los bajantes de desagüe de aguas de lluvia se utilizará la tabla 9.6. Como regla practica se puede utilizar un centímetro cuadrado de área transversal de bajante por cada metro cuadrado de área de techo.

**Figura 2 22. Cálculo del diámetro del bajante desagüe**

Diámetro (mm)	Caudal máximo (l/s)
50	0,90
63,5	1,65
75	2,50
100	5,10
125	8,95
150	14,10
200	28,95

Fuente: Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones (CFIA)

### 2.13.20 Artículo 9.4-5 Tanque colector

En el caso de utilizarse un tanque recolector de aguas de lluvia, su volumen se escogerá para que sea capaz de almacenar como mínimo la escorrentía

producto de la precipitación para un evento con un periodo de retorno de 10 años y una duración de 30 minutos. El volumen se estimará mediante la siguiente expresión:

Ecuación 2.3.2

$$V_t = 1200Q(10,30)$$

Fuente: Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones (CFIA)

Donde:

$V_t$  = Volumen del tanque de captación (m<sup>3</sup>)

$Q(10,30)$  = Caudal máximo para un aguacero con un periodo de 10 años y una duración de 30 minutos (m<sup>3</sup>/s)<sup>9</sup>

#### **2.13.21 Artículo 9.4-6**

Los tanques colectores de aguas de lluvia deberán cumplir con lo estipulado en la sección 7.9.

---

<sup>9</sup> Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2017). Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones. LA GACETA, 2, 222. 08/02/2018, De Scribd Base de datos.

#### **2.13.22 Artículo 9.4-7**

El caudal de diseño del sistema de bombeo será como mínimo  $(2/3) * Q (10,30)$ , donde  $Q (10,30)$  es el caudal máximo producto de un aguacero con un periodo de retorno de 10 años y una duración de 30 minutos.

#### **2.13.23 Artículo 9.4-8**

Las bombas de agua de lluvia deberán cumplir con lo estipulado en la sección 7.9.

#### **2.13.24 Artículo 7.9-7 Requisitos de las bombas**

Las bombas para los sistemas de bombeo de aguas residuales deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- a. Ser de diseño especial para que durante su operación se garantice protección adecuada contra obstrucciones. Es recomendable que los impulsores sean abiertos.
- b. Su capacidad deberá ser de por lo menos de dos veces el caudal máximo que recibe el pozo de bombeo.
- c. Los caudales se determinarán de acuerdo con las secciones 7.3.1.1 y 7.3.2
- d. Las tuberías de succión de las bombas deberán instalarse de manera que eviten excesiva turbulencia cerca del punto de succión. Para efectos

de dimensionamiento se aconseja adoptar velocidades que no superen los ciento cincuenta centímetros por segundo (1,5 m/s) en el tramo de succión y de doscientos cuarenta centímetros por segundo (2,4 m/s) en el tramo de impulsión. En ningún caso, el diámetro de la tubería de succión debe ser inferior a cien milímetros (0,10 m).

- e. Se recomienda que los periodos de funcionamiento de la bomba sean como máximo de tres a cinco arranques para bombas verticales y horizontales. Para bombas sumergibles, el número permitido de arranques por hora es de diez como máximo, para bombas pequeñas. Para bombas grandes, el tiempo de un ciclo de operación no debe ser menor a veinte (20) minutos. El ciclo de operación no deberá ser nunca menor a cinco (5) minutos.
- f. La tubería de descarga de la bomba deberá conectarse al colector de desagüe del edificio a una distancia mínima de tres metros (3,0 m) del bajante más próximo aguas abajo de la conexión, con el fin de prevenir turbulencias y entrada de aire a la línea.
- g. Las tuberías estarán dotadas de válvulas de compuerta para remover o instalar los equipos, y de válvulas de retención para evitar el flujo inverso. Para tamaños mayores a cien milímetros (0,10 m), estas válvulas deberán tener el cuerpo de hierro fundido y, para tamaños menores, el cuerpo deberá ser hierro fundido o bronce.
- h. Las tuberías se instalarán de manera que se evite ruido y la transmisión de vibraciones. Las juntas entre la bomba y la tubería de descarga serán del tipo flexible.

- i. Los equipos de bombeo se fijarán adecuadamente por medio de placas, pernos y juntas amortiguadoras para prevenir la transmisión de vibraciones y para su fácil remoción.
- j. Para determinar el tiempo y la frecuencia de operación de la bomba se deberán considerar las características del motor de la misma. Como norma general, se recomienda que el tiempo de operación de la bomba no sea menor a dos minutos (2,0 min.) y que su frecuencia de operación sea menor a cinco veces por hora.

#### **2.14 Cálculo del sistema de bombeo**

Se presenta a continuación el procedimiento del cálculo hidráulico de la bomba requerida para el tanque de almacenamiento. Para llevarlo a cabo se tendrá en cuenta el material y características de la bomba, el motor, la tubería de impulsión y de succión.

Para el cálculo de la tubería de succión e impulsión se debe de tener en cuenta el siguiente parámetro: El área de sección transversal de dicha tubería, para ello se hace uso de la siguiente fórmula.

Ecuación 2.6.1 Formula del área de sección transversal de una tubería

$$A = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

Donde:

A= Área de la tubería (m<sup>2</sup>)

Ø= Diámetro de la tubería (m)

De acuerdo al caudal de diseño y a la velocidad de succión e impulsión recomendada por el código de instalaciones hidráulicas y sanitarias del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA), se debe despejar el área de la siguiente fórmula, para posteriormente ir a la formula anterior a despejar el diámetro de dicha tubería.

Ecuación 2.6.2 Fórmula del caudal de una tubería

$$Q = V * A$$

Donde:

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/s)

A= Área de la tubería (m<sup>2</sup>)

V= Velocidad de succión (m/s)

Altura dinámica total de succión

La altura dinámica de impulsión es la sumatoria de la altura estática de impulsión, las pérdidas totales en la impulsión y las pérdidas por fricción en la impulsión.

Ecuación 2.6 4 Fórmula para el cálculo de la altura dinámica

$$Q = 0.2785 * C * \phi^{1.63} * J^{0.54}$$

Donde:

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/s)

C= Coeficiente de Hazen Williams

Ø= Diámetro tubería (m)

J= Pérdida de carga unitaria (m/m)

**Figura 2.23 Coeficiente de Hazen-Williams**



Tabla de coeficientes de Hazen-Williams

Material	Coeficiente
Asbesto-cemento (nuevo)	135
Cobre y Latón	130
Ladrillo de saneamiento	100
Hierro fundido, nuevo	130
Hierro fundido, 10 años de edad	107 – 113
Hierro fundido, 20 años de edad	89 – 100
Hierro fundido, 30 años de edad	75 – 90
Concreto, acabado liso	130
Concreto, acabado común	120
<b>Acero galvanizado</b> (nuevo y usado)	<b>125</b>
Acero remachado nuevo	110
Acero remachado usado	85
<b>PVC</b>	<b>140</b>
<b>PE</b>	<b>150</b>
Plomo	130 -140
<b>Aluminio</b>	<b>130</b>

Fuente: Hidráulica 2015, Frago.

#### Pérdida total de succión

La pérdida total de succión se da en cada uno de los accesorios instalados en el sistema, para ello se hace uso de una tabla con sus respectivas pérdidas como longitud equivalente.

Para efectos del cálculo se utilizan los siguientes accesorios.

- Válvula de retención liviana
- Codo de 90 grados de radio corto
- Longitud recta de tubería

**Figura 2.24 Longitud de equivalencias de pérdidas en tuberías**

DIAMETRO (pulg)	CODO 90° RADIO LARGO	CODO 90° RADIO MEDIO	CODO 90° RADIO CORTO	CODO 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	VALVULA DE CONTEN ABIERTA	VALVULA DE GLOBO ABIERTA	TEE DE PASO DIRECTO	TEE PASO DE LADO	TEE SALIDA BILATERAL	SALIDA DE TUBERIA	VALVULA DE RETENCION TIPO LLAVE	VALVULA DE RETENCION TIPO POZO
1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	0,3	1,0	1,0	0,4	1,1	1,8
3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,2	0,5	0,1	6,7	0,4	1,4	1,4	0,5	1,8	2,4
1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,7	0,2	8,2	0,5	1,7	1,7	0,7	2,1	3,2
1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,9	0,2	11,3	0,7	2,3	2,3	0,9	2,7	4,0
1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	1,0	0,3	13,4	0,9	2,8	2,8	1,0	3,2	4,8
2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,7	1,5	0,4	17,4	1,1	3,5	3,5	1,5	4,2	6,4
2 1/2	1,3	1,7	2,0	0,9	0,9	1,9	0,4	21,0	1,3	4,3	4,3	1,9	5,2	8,1
3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,1	2,2	0,5	28,0	1,6	5,2	5,2	2,2	6,3	9,7
4	2,1	2,8	3,4	1,5	1,6	3,2	0,7	34,0	2,1	6,7	6,7	3,2	8,4	12,9
6	3,4	4,3	4,9	2,3	2,5	5,0	1,1	51,0	3,4	10,0	10,0	5,0	12,5	19,3
8	4,3	5,5	6,4	3,0	3,5	6,0	1,4	67,0	4,3	13,0	13,0	6,0	16,0	25,0
10	5,5	6,7	7,9	3,8	4,5	7,5	1,7	85,0	5,5	16,0	16,0	7,5	20,0	32,0
12	6,1	7,9	9,5	4,6	5,5	9,0	2,1	102,0	6,1	19,0	19,0	9,0	24,0	38,0
14	7,3	9,5	10,5	5,3	6,2	11,0	2,4	120,0	7,3	22,0	22,0	11,0	28,0	45,0

**Fuente: Hidráulica 2015, Frago.**

### Perdidas por fricción en la Succión

Las pérdidas por en la succión se da por medio de la fricción del líquido con las paredes de la tubería, se determina mediante la siguiente formula;

Ecuación 2.6.5 Fórmula de pérdidas por fricción

$$K = \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

K= Perdidas por fricción (m)

V= Velocidad del fluido (m/s)

G= Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

#### Altura total en la succión

Para efectos del cálculo se deben tomar en cuentas todos los parámetros expuestos anteriormente; por lo tanto, se hace uso de la siguiente fórmula para el cálculo respectivo de la altura total en la succión.

Ecuación 2.6.6 Fórmula de la altura en la succión

$$H_d = h + (J * \Delta h) + K$$

Donde:

H<sub>d</sub>= Altura dinámica total (m)

H= Altura estática (m)

J= Perdida de carga unitaria (m/m)

Δh= Sumatoria de las pérdidas totales (m)

K= Pérdidas por fricción (m)

### Pérdidas totales en la impulsión

Igualmente, que el cálculo para pérdidas totales en la succión que debe de tomar en cuenta la pérdida en cada accesorio y por fricción (Ecuación 2.6.4)

En la impulsión se utilizarán los siguientes accesorios;

- Válvula de compuerta
- Válvula de retención
- Longitud recta de tubería

### Altura dinámica total

La altura dinámica total es la suma de las pérdidas totales de succión e impulsión, por lo tanto, se calcula con la siguiente formula.

Ecuación 2.6.7 Fórmula de la altura dinámica total

$$H_d = H_{d,s} + H_{d,i}$$

Donde:

H<sub>d</sub>= Altura dinámica total

H<sub>d,s</sub> = Altura dinámica en la succión (m)

H<sub>d,i</sub>= Altura dinámica en la impulsión (m)

## **2.15 VAN Y TIR**

TIR: La tasa interna de retorno es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, por esta razón se utiliza para la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión.

### Ecuación 2.8 Cálculo del TIR

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_{Ft}}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0$$

Fuente: <http://todoproductosfinancieros.com/tir-calculo-y-concepto>

Donde:

V<sub>ft</sub>= Flujo de caja

TIR= Tasa interna de retorno.

I<sub>0</sub>= Inversión inicial

VAN: El Valor Actual Neto de una inversión o proyecto de inversión es una medida de la rentabilidad absoluta neta que proporciona el proyecto, esto es, mide en el momento inicial del mismo, el incremento de valor que proporciona a los propietarios en términos absolutos, una vez descontada la inversión inicial que se ha debido efectuar para llevarlo a cabo.

### Ecuación 2.9 Cálculo del VAN

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1 + k)^1} + \frac{Q_2}{(1 + k)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1 + k)^n}$$

Fuente: <http://yirepa.es/ejemplo-van-desarrollo-formula.html>

Donde:

A= Inversión inicial

Q= Flujo de efectivo por periodo

K= Rendimiento mínimo aceptable

**CAPÍTULO 3**  
**MARCO METODOLÓGICO**

### 3.1 Metodología

En este proyecto la metodología por utilizar se divide en 3 subproyectos;

- ✓ Teóricos
- ✓ Diseño con base en criterios preestablecidos por el código eléctrico nacional(NEC)
- ✓ Estudio económico

En esta investigación se recopilaron datos bibliográficos de libros, revistas, manuales y de internet, con el fin de obtener suficiente información de fuentes de energías renovables y su máximo aprovechamiento; esto, de una manera u otra, sustentará el cuerpo teórico del proyecto.

Posteriormente se hace el análisis de los planos arquitectónicos y de techos de la casa, para seguidamente dar inicio al diseño de la vivienda, de acuerdo a los compartimientos y requerimientos del código eléctrico nacional (NEC). Esto es el punto de partida principal.

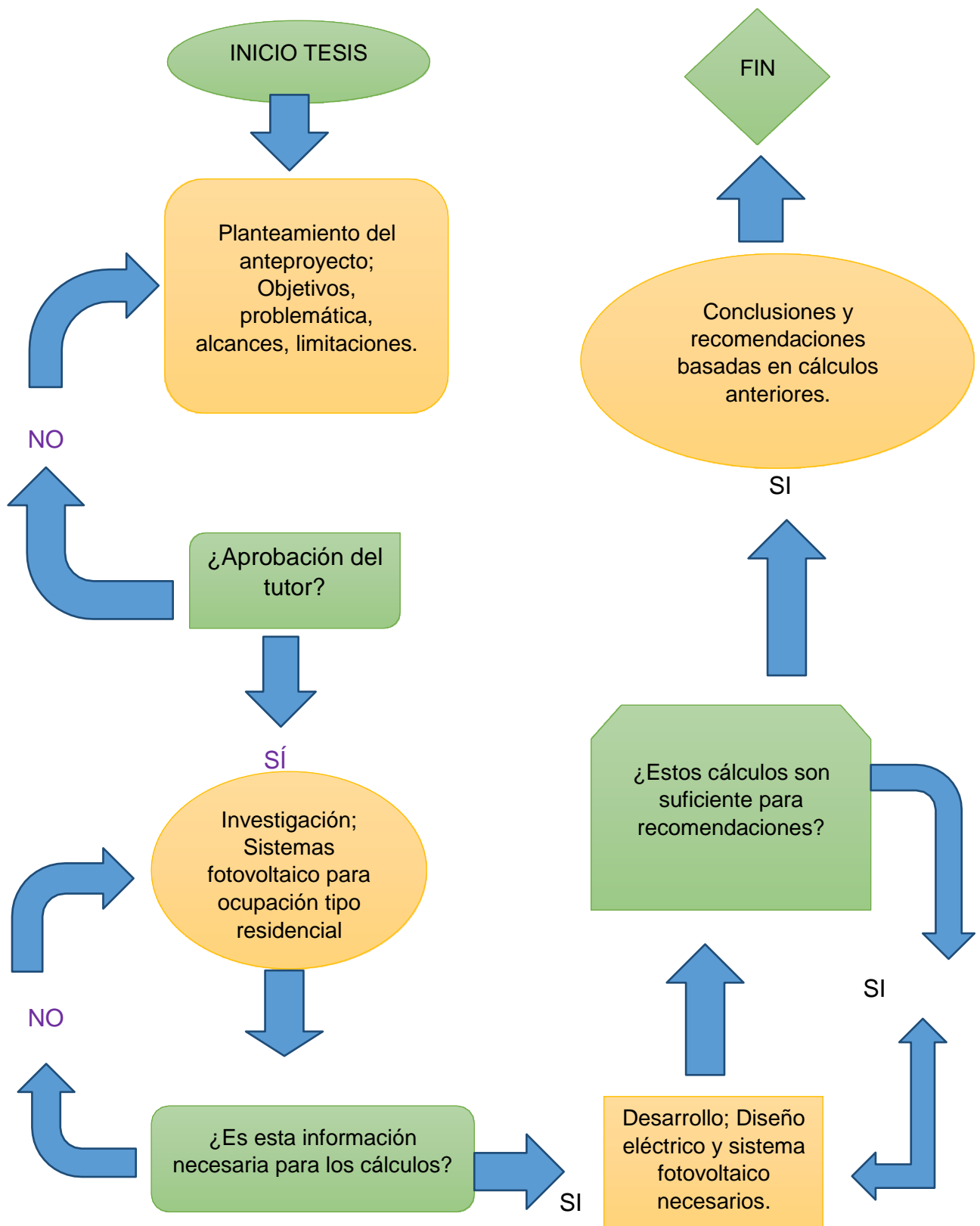
Finalmente, se pretende hacer un análisis comparativo de precios entre los diseños eléctricos suministrados por red convencional versus fuentes de energías renovables; para dicha comparación se pretende evaluar el diseño eléctrico con red convencional y así poder lograr concluir el ahorro posterior al cambio de fuentes de energías.

**Tabla 3 1. Relación de fase-objetivos-actividades y metas del proyecto**

<b><u>FASES</u></b>	<b><u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u></b>	<b><u>ACTIVIDADES</u></b>	<b><u>METAS</u></b>
✓ Organización	✓ Elaborar el anteproyecto del Diseño.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Crear el cronograma de trabajo.</li> <li>✓ Cumplir con los requerimientos del anteproyecto.</li> </ul>	✓ Anteproyecto aprobado.
✓ Información	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Realizar estudio de sistemas fotovoltaicos.</li> <li>✓ Investigar sobre los diferentes usos del agua de lluvia No domésticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ver opciones de sistemas fotovoltaicos y clasificarlos de acuerdo a su costo y eficiencia.</li> <li>✓ Recopilar información sobre usos del agua de lluvia reciclada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Elección del sistema fotovoltaico más adecuado.</li> <li>✓ Aplicación del uso del agua de lluvia reciclada.</li> </ul>
✓ Análisis	✓ Realizar el debido análisis financiero del proyecto.	✓ Estimar la inversión económica del proyecto(eléctrico-fotovoltaico)	✓ Análisis financiero listo.
✓ Diseño	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Realizar el diseño eléctrico de una unidad de vivienda.</li> <li>✓ Calcular el sistema fotovoltaico necesario.</li> <li>✓ Realizar el diseño Mecánico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Usar la norma vigente NFPA para el levantamiento del diseño.</li> <li>✓ Realizar el cálculo respectivo del sistema fotovoltaico de acuerdo a las cargas de la vivienda.</li> <li>✓ Usar el código de hidráulica del CFIA para realizar diseño mecánico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Levantamiento del diseño eléctrico.</li> <li>✓ Cantidad de paneles necesarios para el diseño.</li> <li>✓ Cálculo del sistema mecánico ( tuberías, accesorios, bombeo)</li> </ul>

**FUENTE PROPIA**

Figura 3 1. Diagrama de bloques

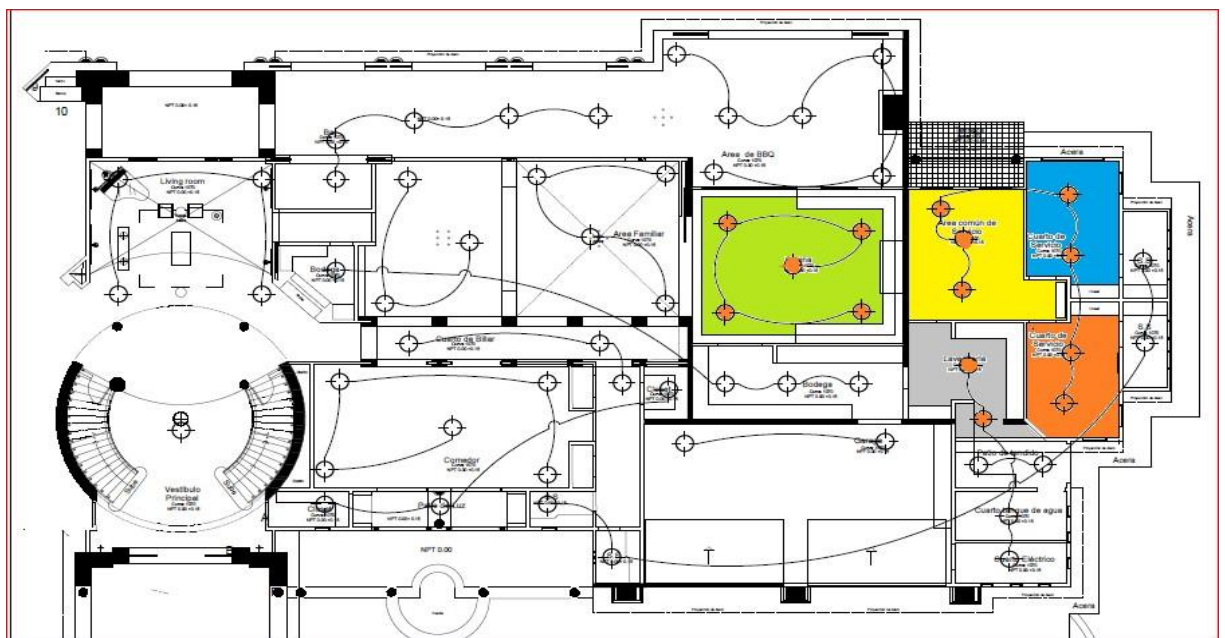


# **DESARROLLO**

De acuerdo a la tabla 4.1, se detalla la memoria de cálculo por el método lúmenes para la planta baja, el cual consiste en calcular el área de cada recinto de la vivienda, especificar la luminaria por elegir, en este caso una luminaria LED TOLEDO ALTA POTENCIA, ver ficha técnica en anexo 1, para finalmente calcular la cantidad de luminarias necesarias para cada recinto, esto se hace mediante la ecuación 2.1, capítulo 2, página 43.

Además, se observa la distribución de las luminarias en la figura 4.1 en la representación gráfica del método, por ejemplo, para el área de cocina 5 luminarias (color verde), área de servicio común 3 (color amarillo), cuarto de servicio 2 (color azul) y así sucesivamente para cada recinto, los cuales se pueden constatar mediante la tabla 4.1.

**Figura 4.1. Representación gráfica del método lúmenes en el plano eléctrico (planta baja)**



Fuente Propia

**Tabla 4 1. Memoria de cálculo método lúmenes (planta baja)**

Tabla 4.1 Método Lúmenes PLANTA BAJA							
	Recinto	Área m2	Potencia lámpara (W)	Carga Instalada VA	Corriente (A)	Luminarias	Cantidad de luminarias
1	Cuarto de Servicio	22,35	20	447	3,72	1,77	2
2	Área común de servicio	31,9	20	638	5,31	2,53	3
3	Cuarto de servicio 2	19,97	20	399,4	3,32	1,58	2
4	Lavandería	21,32	20	426,4	3,55	1,69	2
5	Cuarto tanque de agua	10,45	20	209	1,74	0,82	1
6	Cuarto eléctrico	8,48	20	169,6	1,41	0,67	1
7	Bodega 1	29,59	20	591,8	4,93	2,34	3
8	Cocina	61,72	20	1234,4	10,28	4,89	5
9	Área de BBQ	112,37	20	2247,4	18,72	8,91	9
10	Área familiar	87,65	20	1753	14,60	6,95	7
11	Bodega 2	6,33	20	126,6	1,055	0,5	1
12	Comedor	59,6	20	1192	9,93	4,73	5
13	Servicios sanitario 1	4,37	20	87,4	0,72	0,34	1
14	Servicios sanitario 2	7,31	20	146,2	1,21	0,58	1
15	Servicios sanitario 3	7,31	20	146,2	1,21	0,58	1
16	Servicios sanitario 4	4,47	20	89,4	0,74	0,35	1
17	Closet 1	5,44	20	108,8	0,90	0,43	1
18	Closet 2	4,45	20	89	0,74	0,35	1
19	Bar	20,89	20	417,8	3,48	1,65	2
20	Sala	41,58	20	831,6	6,93	3,3	4
21	Patio de tendido	13,24	20	264,8	2,20	1,05	2
22	Cuarto de billar	20,46	20	409,2	3,41	1,62	2
	Totales			12025 VA			57

## **4. 1 Memoria de Cálculo (Planta Baja)**

En el siguiente diseño eléctrico de una unidad de vivienda se contemplarán los siguientes circuitos: Iluminación (método lúmenes) y tomas generales, electrodomésticos, lavandería, secadoras, cocción y equipos fijos, además del cálculo de la acometida de esta unidad de vivienda.

### **4.1.1 Cálculos eléctricos.**

#### **4.1.1.1 Cargas de iluminación y tomas generales**

De acuerdo con el método lúmenes, expuesto anteriormente en la página 43, capítulo 2 del marco teórico, se hace el cálculo de iluminación y se utiliza la lámpara LED “Toledo Alta potencia” de 20 W de potencia. Se elige esta debido a su gran ahorro energético, hasta de un 80%, comparada con otras tecnologías, no atrae insectos y es ideal para iluminar amplias áreas, con un flujo luminoso de 1800 lm, en tensiones de 100-240 Voltios, catalogo sylvania 2016-2017(Illuminación Eficiente) (Anexo 1).

De acuerdo a la norma Inteco “Niveles y condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo”, para el tipo de ocupación “unidad de vivienda” el factor de lúmenes es de 100.

Para el cálculo de tomas generales, el artículo 220.14 (L) NEC 2008, “Otras salidas no cubiertas en las secciones 220.14 (A) hasta la (K), se deben calcular con base en 180 Va por salida.

- ✓ Carga instalada Iluminación de acuerdo a la tabla 4.1
- ✓  $CI = 12025 Va$
- ✓ Factor de carga (tomas) x cantidad de salidas

✓  $180 \text{ Va} \times 60 = 10800 \text{ Va}$

**Total, Iluminación y Tomas Generales= 22825 Va**

#### **4.1.1.2 Cargas de electrodomésticos pequeños**

En el artículo 220.52 (A) del NEC 2008, el cual consiste que por cada circuito ramal bifilar se debe calcular a 1500 Va, abarca aparatos eléctricos tales como: licuadoras, batidoras, coffeemaker y refrigeradora.

✓ Carga del circuito (Va) x cantidad de circuitos

✓  $1500 \text{ Va} \times 2 = 3000 \text{ Va}$

#### **4.1.1.3 Cargas de circuitos de baños**

En el artículo 220.12 NEC 2008 se especifica que por cada circuito de baños se debe calcular a 1500 Va cada circuito ramal bifilar.

✓ Carga de circuito Va x Cantidad de circuitos.

✓  $1500 \text{ Va} \times 2 = 3000 \text{ Va}$

#### **4.1.1.4 Cargas de lavandería**

La carga de lavandería hace referencia al artículo 220.52 (B) del NEC 2008, consiste en 1500 Va por cada circuito ramal bifilar que se agregue.

✓ Carga del circuito (Va) x Cantidad de circuitos

✓  $1500 \text{ Va} \times 1 = 1500 \text{ Va}$

#### **4.1.1.5 Factor de demanda**

En la tabla 220.42 del NEC 2008 se detalla el factor de demanda de cargas de alumbrado la cuales se dividen de acuerdo al tipo de ocupación, parte de carga a la que se le aplica el factor y finalmente el factor de demanda.

✓ Cargas a las cuales se les debe aplicar este factor

- Iluminación y tomas generales = 22825 Va
- Electrodomésticos pequeños= 3000 Va
- Lavandería= 1500 Va
- Baños= 3000 Va

**Total= 30325 Va**

✓ Primeros 3000 Va o menos, se le aplica el 100%

- $3000 \text{ Va} \times 100\% = 3000 \text{ Va}$
- $(30325 \text{ Va} - 3000 \text{ Va}) \times 35\% = 9564 \text{ Va}$
- $3000 \text{ Va} + 9564 \text{ Va} = 12564 \text{ Va}$  (**carga demanda**)

#### 4.1.1.6 Carga de cocción

En el código eléctrico nacional (NEC) 2008 se especifica en el artículo 220.55 el cual establece la carga demandada para equipos de cocina en unidades de vivienda, además en la tabla 220.50(Anexo 3), se obtiene su factor de demanda.

- Cooktop 8000 Va
- Horno 6000 W

**Total= 14000 Va**

✓ El factor de demanda se obtiene de la tabla 220.55, columna B, para dos equipos de cocción el factor a aplicar es de 75%

✓  $14000 \text{ Va} \times 75\% = 10500 \text{ Va}$  (**Carga demandada**)

#### 4.1.1.7 Carga de salidas fijas

En el artículo 220.53 del NEC 2008 se indica el factor de demanda de un 75% para cuatro o más equipos fijos.

- TAC 12000 Va
- Microondas 1200 Va
- Lavaplatos 1200 Va
- Triturador 900 Va
- Motor Bomba de Riego (1 HP) 1840 Va
- Motor para Portón Eléctrico (½ HP) 1127 Va

Total= 18267 Va

✓ Sumatoria de las cargas y aplicación del factor de demanda.

✓  $18267 \text{ Va} \times 75\% = 13700,3 \text{ Va}$  (Carga demandada)

#### 4.1.1.8 Carga de secadora

Para las cargas de secadora el NEC 2008 hace referencia al artículo 220.54, donde se detalla que para el tipo de ocupación en este caso “unidad de vivienda” debe de ser de 5000 Va. De igual manera en la tabla 220.54 se proporciona el factor de demanda de acuerdo a la cantidad de secadoras.

- ✓ Secadora de 5000 Va, la cual el factor de demanda para una secadora es del 100%, por lo tanto, queda igual la carga demandada.

#### 4.1.1.9 Carga al motor más grande

En el artículo 220.50 NEC 2008 se detalla un factor de demanda del 25% para motores.

- ✓ Motor más grande x Factor
- ✓ 1840 Va x 25%= **460 Va (Carga demandada)**

**Tabla 4 2. Resumen de cargas (planta baja)**

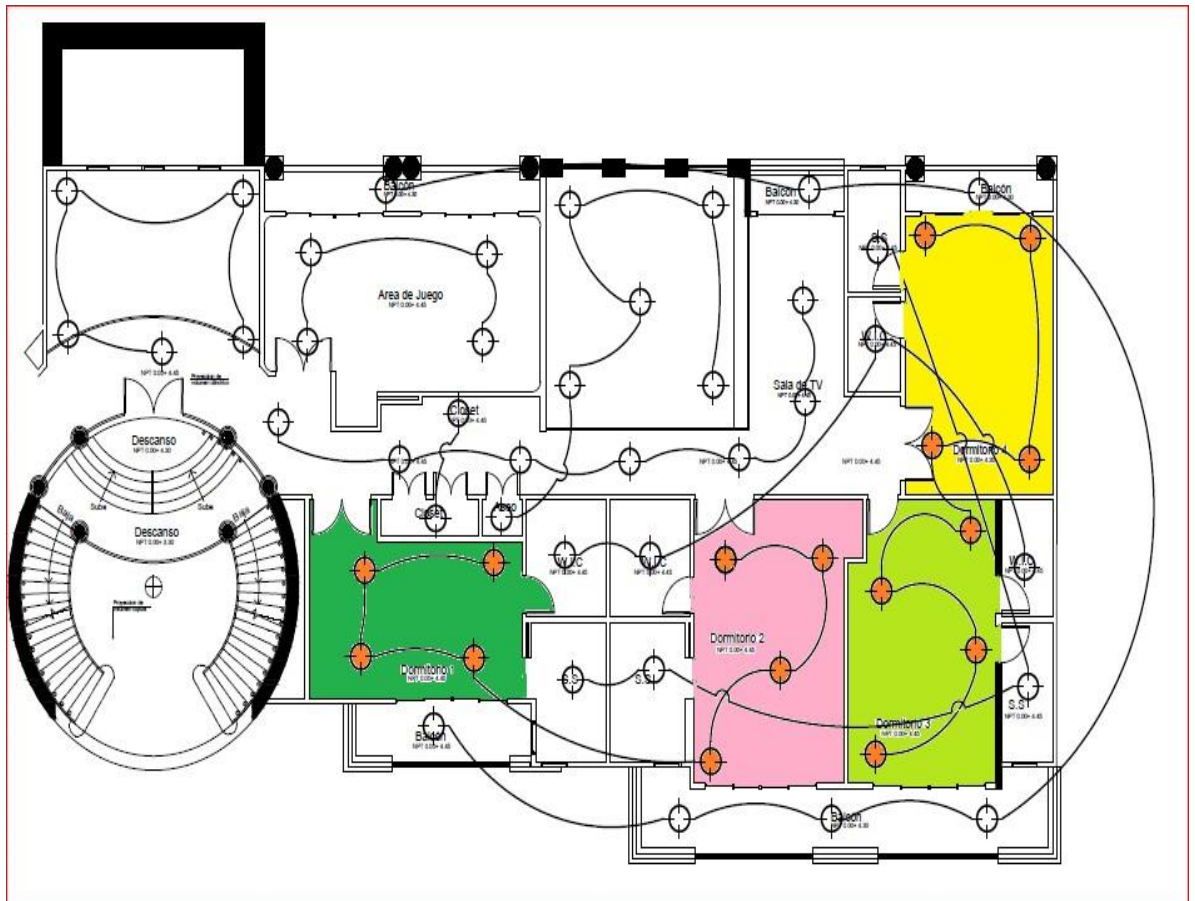
CIRCUITOS	Carga Instalada(VA)	Carga Demandada(VA)	Neutro(VA)
Iluminación y Tomas generales	22825		
Electrodomésticos	3000		
Circuito de Baños	3000		
Lavandería	1500	12564	12564
Salidas Fijas	18267	13700,3	11475
Secadora	5000	5000	3500
Cocción	14000	10500	7350
Motor más grande		460	460
<b>TOTALES</b>	<b>67592</b>	<b>42224,3</b>	<b>35349</b>

De acuerdo a la tabla 4.3, se detalla la memoria de cálculo por el método lúmenes para la planta alta, el cual consiste el calcular el área de cada recinto de la vivienda, especificar la luminaria a elegir, en este caso una luminaria LED TOLEDO ALTA POTENCIA, ver ficha técnica en anexo 1, para finalmente calcular la cantidad de luminarias necesarias para cada recinto, esto se hace mediante la ecuación 2.1, capítulo 2, página 43.

Además, se observa la distribución de las luminarias en la figura 4.2, en la representación gráfica del método, por ejemplo, que el área de dormitorio 1 tiene 4 luminarias (color verde oscuro); dormitorio 2, 4 luminarias (color rosado);

y así sucesivamente para cada recinto, los cuales se puede constatar mediante la tabla 4.3

**Figura 4 2. Representación gráfica del método lúmenes en el plano eléctrico (planta alta)**



Fuente propia

**Tabla 4 3. Memoria de cálculo método lúmenes (planta alta)**

Tabla 4.2 Método lúmenes PLANTA ALTA							
	Recinto	Área (m2)	Potencia lámpara(W)	Carga Instalada VA	Corriente (A)	luminarias	Cantidad de luminarias
1	Dormitorio 1	42,98	20	859,6	7,16	3,41	4
2	Dormitorio 2	44,05	20	881	7,34	3,49	4
3	Dormitorio 3	44,37	20	887,4	7,39	3,52	4
4	Dormitorio 4	41,62	20	832,4	6,93	3,3	4
5	Servicio Sanitario 1	7,22	20	144,4	1,20	0,57	1
6	Servicio Sanitario 2	10,48	20	209,6	1,74	0,83	1
7	Servicio Sanitario 3	10,11	20	202,2	1,68	0,8	1
8	Servicio Sanitario 4	6,53	20	130,6	1,08	0,51	1
9	Balcón 1	28,03	20	560,6	4,67	2,22	3
10	Balcón 2	6,04	20	120,8	1	0,47	1
11	Balcón 3	3,88	20	77,6	0,64	0,38	1
12	Balcón 4	10,37	20	207,4	1,72	0,82	1
13	Balcón 5	9,48	20	189,6	1,58	0,75	1
14	Closet 1	3,69	20	73,8	0,61	0,29	1
15	Closet 2	5,34	20	106,8	0,89	0,43	1
16	W.I.C 1	9,52	20	190,4	1,58	0,75	1
17	W.I.C 2	9,52	20	190,4	1,58	0,75	1
18	W.I.C 3	6,04	20	120,8	1	0,47	1
19	W.I.C 4	5,06	20	101,2	0,84	0,4	1
20	W.I.C 5	48,97	20	979,4	8,16	3,88	4
21	Sala TV	22,76	20	455,2	3,79	1,8	2
22	Pasillo	64,8	20	1296	10,8	5,14	6
23	Área de aseo	1,5	20	30	0,25	0,11	1
24	Sala	51,53	20	1030,6	8,58	4,08	5
25	Área · 1	40,78	20	815,6	6,79	3,23	4
26	Área descanso	72,45	20	1449	12,07	5,75	6
27	Área de juegos	49,04	20	980,8	8,17	3,89	4
28	<b>Totales</b>			<b>13123,2</b>			<b>65</b>

## Memoria de Cálculo (Planta Alta)

### 4.1.1.10 Cargas de iluminación y tomas generales

De acuerdo al método lúmenes, expuesto anteriormente en la página número 43, capítulo 2 del marco teórico, para el cálculo de iluminación, se utiliza la lámpara LED “Toledo Alta potencia, 20 W de potencia”. Se elige esta debido a su gran ahorro energético, hasta de un 80% comparado con otras tecnologías, no atrae insectos y es ideal para iluminar amplias áreas, con un flujo luminoso de 1800 lm, en tensiones de 100-240 Voltios, catalogo sylvania 2016-2017 (Iluminación Eficiente) (Anexo 1).

De acuerdo a la norma Inteco “Niveles y condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo”, para el tipo de ocupación “unidad de vivienda” el factor de lúmenes es de 100.

Para el cálculo de tomas generales, se usa el artículo 220.14 (L), NEC 2008.

“Otras salidas no cubiertas en las secciones 220.14 (A) hasta la (K)”, se deben calcular con base a 180 Va por salida.

- ✓ Carga instalada Iluminación de acuerdo a la tabla 4.3
- ✓  $CI = 13123,2 \text{ Va}$
- ✓ Factor de carga (tomas) x cantidad de salidas
- ✓  $180 \text{ Va} \times 60 = 10800 \text{ Va}$

**Total, Iluminación y Tomas Generales= 23923,2Va**

#### 4.1.1.11 Carga de circuito de baños

En el artículo 220.12 NEC 2008 se especifica que por cada circuito de baños se debe calcular a 1500 Va cada circuito ramal bifilar.

- ✓ Carga de circuito Va x Cantidad de circuitos.
- ✓  $1500 \text{ Va} \times 4 = 6000 \text{ Va}$

#### 4.1.1.12 Factor de demanda

En la tabla 220.42 del NEC 2008 se detalla el factor de demanda de cargas de alumbrado, las cuales se dividen de acuerdo con el tipo de ocupación, parte de carga a la que se le aplica el factor y finalmente el factor de demanda.

- ✓ Cargas a las cuales se le deben de aplicar este factor
  - Iluminación y tomas generales=23923,2 Va
  - Baños= 6000

**Total= 29923,2**

- Primeros 3000 Va o menos, se le aplica el 100%
- $3000 \text{ Va} \times 100\% = 3000 \text{ Va}$
- $(29923,2 \text{ Va} - 3000 \text{ Va}) \times 35\% = 9423,12 \text{ Va}$
- $3000 \text{ Va} + 9423,12 \text{ Va} = 12423,12 \text{ Va}$  (**carga demanda**)

**Tabla 4.4 Resumen de cargas (planta alta)**

CIRCUITOS	Carga Instalada(VA)	Carga Demandada(VA)	Neutro(VA)
Iluminación y Tomas generales	23923,2	12423,12	12423,12
Electrodomésticos	0		
Circuito de Baños	6000		
Lavandería	0		
Salidas Fijas	0	0	0
Secadora	0	0	0
Cocción	0	0	0
Motor más grande		0	0
<b>TOTALES</b>	<b>29923,2 CI</b>	<b>12423,12 CD</b>	<b>12423,12 CN</b>

**Tabla 4.5 Resumen de cargas, planta baja y alta**

Carga total Instalada	Carga total demandada	Carga del total del neutro
97515,2 Va	54647,5 Va	47772,2 Va

En las tablas 4.2, 4.4 y 4.5 se detallan las cargas instaladas, demandadas y cargas del neutro según su circuito ramal; en la planta baja se tienen los circuitos básicos de una unidad de vivienda llámese: iluminación y tomas generales, electrodomésticos, baños, lavandería, cocción etc.; caso contrario para la planta alta, la cual solo alberga circuitos tales como: iluminación y tomas generales y baños. Esto se debe a que en el diseño se especificó de esta manera.

Para el cálculo de la carga demandada, como se detalla en las tablas anteriormente mencionadas, el código eléctrico nacional (NEC 2008) hace referencia en la tabla 220.42 factor de demanda para cargas de alumbrado, se especifica que: Los primeros 3000 Va o menos es al 100%, de 3001 a 120.000

Va al 35% y finalmente a partir de 120.000 Va al 25%, de ahí el valor de estas cargas demandadas lo que también es igual a la carga del neutro.

Para el caso de las salidas fijas y cocción, este factor de demanda es el 75%; para el circuito de la secadora, la carga demandada al ser solamente un artefacto, es al 100%. En la tabla 220.54 NEC se detalla el factor de demanda para las secadoras de acuerdo a su cantidad, para el cálculo del neutro es el 70% de la carga demanda en la secadora, lo mismo ocurre para el circuito de cocción.

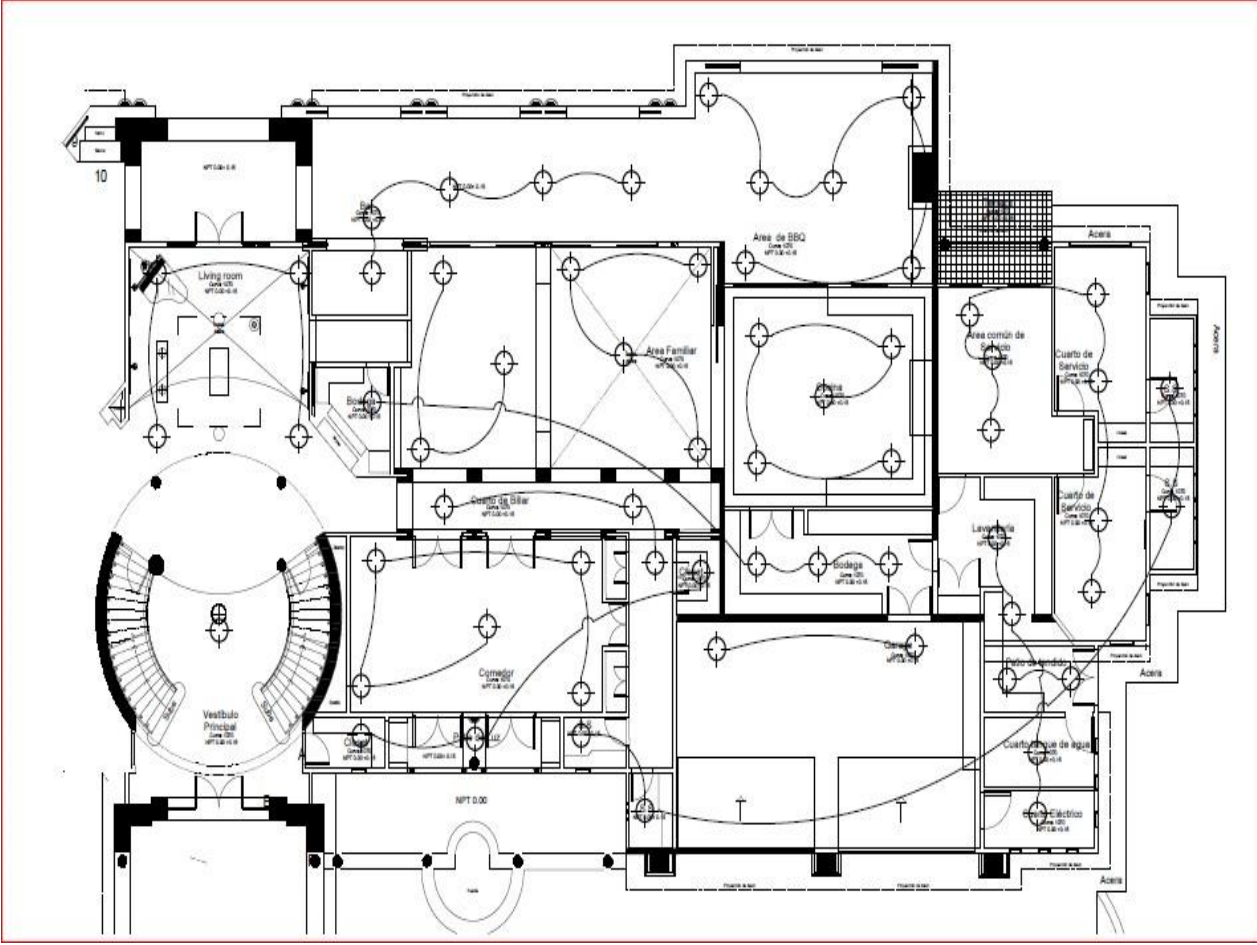
- ✓ Cálculo de la corriente demandada
  - $ID = 54647,5 \text{ Va} / 240 \text{ V} = 227,69 \text{ A}$
- ✓ Cálculo de la corriente de neutro.
  - $IN = 47772,2 \text{ Va} / 240 \text{ V} = 199,05 \text{ A}$
- ✓ Cálculo del Acometida
  - Para el cálculo de la acometida se hace uso de tabla 310.16 del NEC.
  - Para el cálculo del conductor de tierra, el NEC utiliza la tabla 250.66.
  - En el artículo 240.6 del NEC, se hace selección del interruptor automático principal con referencia a la corriente demandada

**Tabla 4.6 Calibre de conductores de la acometida**

Acometida	Calibre en cobre	Calibre en aluminio
FASE	# 4/0 AWG THHN CU	# 300 KCMIL AWG THHN AL
NEUTRO	# 4/0 AWG THHN CU	# 250 KCMIL AWG THHN AL
TIERRA	# 2 AWG THHN CU	# 1/0 AWG THHN AL.

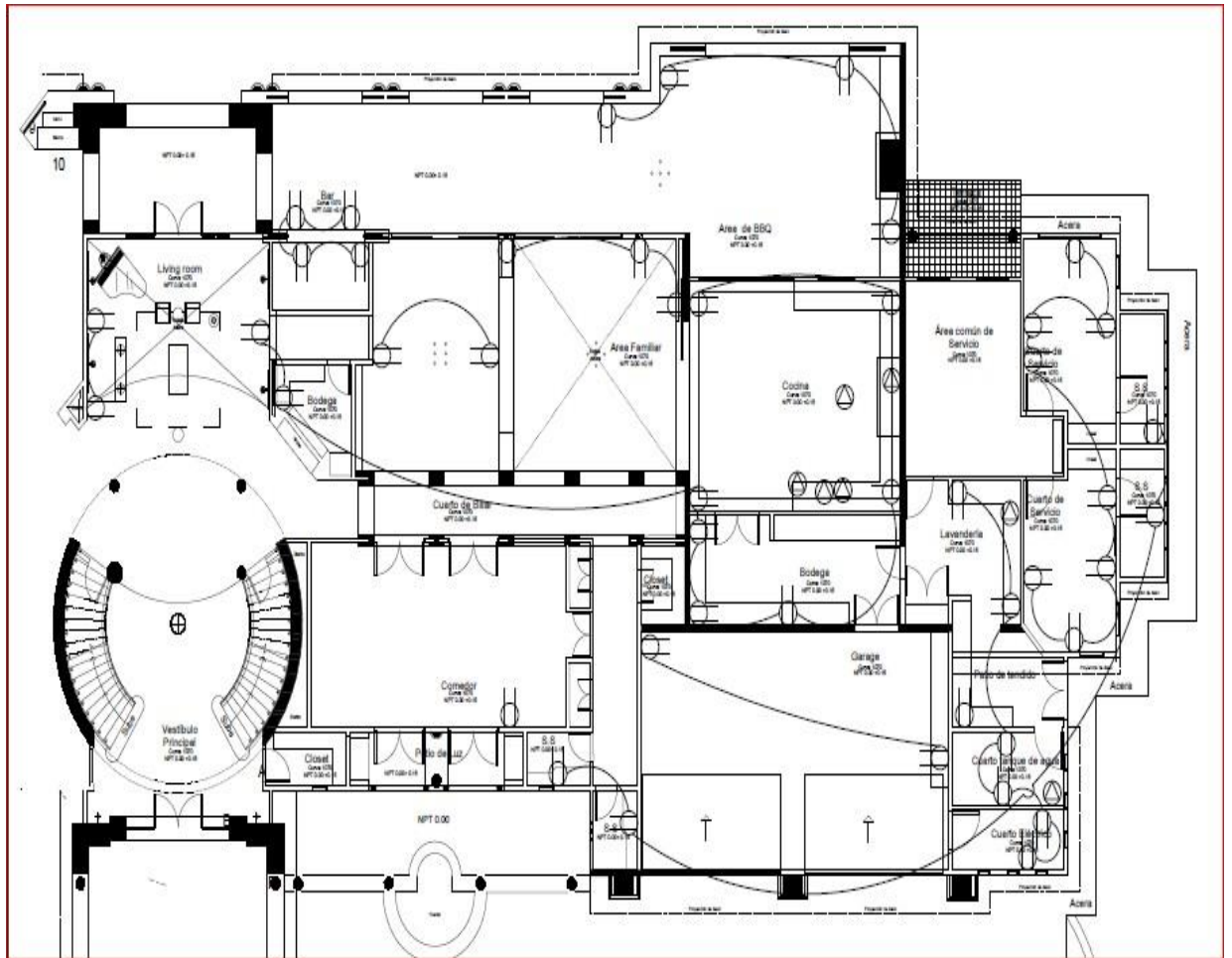
BREAKER	2 X 250 A
---------	-----------

Figura 4.3 Plano eléctrico de luminarias (planta baja)



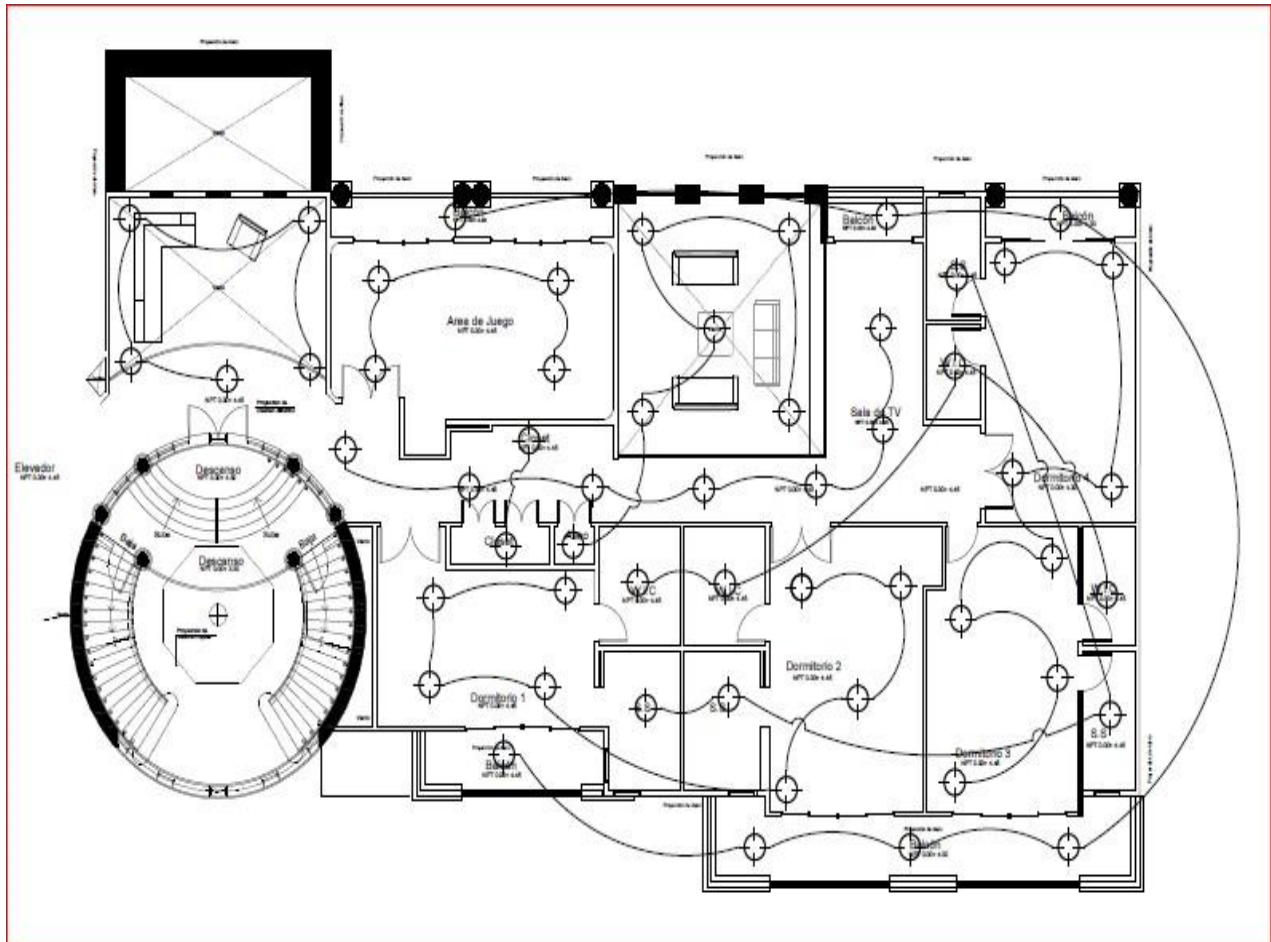
Fuente Propia de AUTOCAD

Figura 4.4 Plano eléctrico de tomacorrientes (planta baja)



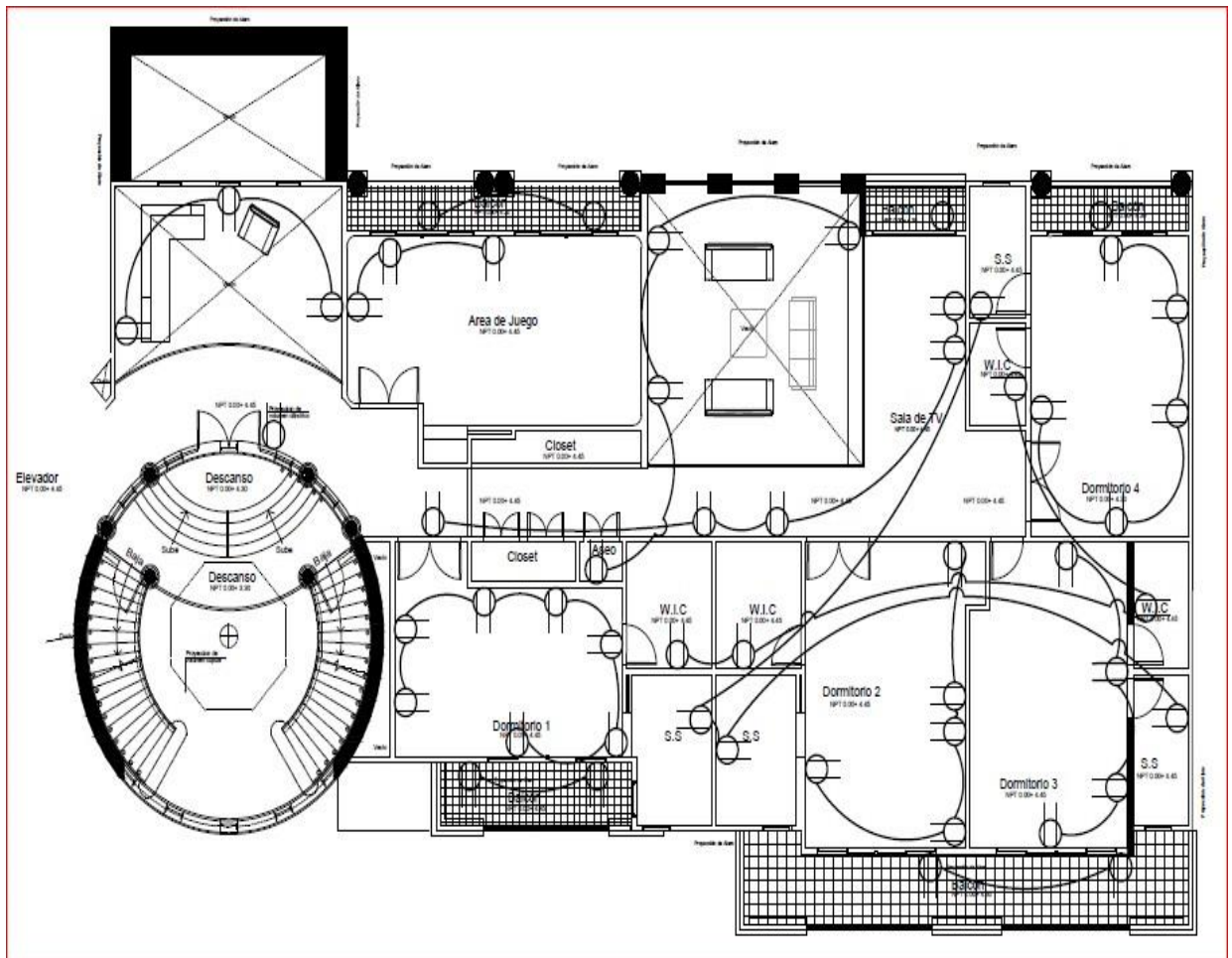
Fuente Propia de AUTOCAD

Figura 4.5 Plano eléctrico de luminarias (planta alta)



Fuente Propia de AUTOCAD

Figura 4.6 Plano eléctrico de tomacorrientes (planta alta)



Fuente Propia de AUTOCAD

#### 4.1.1.13 Cálculo del Transformador

Para efectos del cálculo del transformador, se debe contemplar la carga demandada del diseño eléctrico, su elección se hace mediante la siguiente tabla de transformadores con valores comerciales.

**Tabla 4.7 Valores comerciales de transformadores**

TRANSFORMADORES PEDESTALES TIPO RADIAL MONOFASICO 15 - 25 kV					
KVA	Volumen aceite (Lt.)	Peso aprox.(Kg.)	MEDIDAS (mm)		
			A	B	C
25	162	375	946	915	863
37,5	187	430	946	915	920
50	214	441	986	915	945
75	252	629	986	935	1010
100	262	701	986	935	1031
167	387	935	1046	1155	1012

**Fuente: Catalogo de transformadores RYMEL**

**Datos;**

Carga demandada de diseño = 54,64 KVA

Mediante el cálculo anterior, se debe elegir el transformador de 75 KVA, con sus respectivas características en valores comerciales como se especifica en la tabla 4.7.

#### 4.1.1.14 Cálculo de caída de tensión en la acometida

Para el cálculo de caída de tensión se hace el uso de la siguiente fórmula.

$$\Delta V\phi = \frac{2 \times R \times L \times I}{1000}$$

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V\phi}{120 \text{ ó } 240} \times 100$$

$\Delta V\%$ = Porcentaje de caída de tensión (%)

R= Resistividad del conductor ( $\Omega/m$ )

I= Corriente monofásica por el conductor (A)

L= Distancia de la carga en pies (1 pie= 0,3048 m)

120 o 240= Depende directamente de que voltaje sea alimentado el conductor.

- Para el cálculo de la caída de tensión de la acometida en cobre de la vivienda se toman en cuenta los siguientes datos: La corriente demandada 216,02 A, la distancia de 20m= 65,6 pies y la resistividad del conductor se obtiene del NEC en la tabla 8, para el calibre de la fase en este caso un numero # 4/0, con un valor de 0,0626 ( $\Omega/m$ ), aplicando la formula anterior se obtiene una caída de tensión de 1,47 %.

#### **4.1.1.15 Cálculo de caída de tensión en conductores de aluminio**

Mediante la fórmula anterior se hace el cálculo de la caída de voltaje para la acometida del conductor en aluminio.

- Para el cálculo de la caída de tensión de la acometida en aluminio de la vivienda se toman en cuenta los siguientes datos: La corriente demandada 216,02 A, la distancia de 20m= 65,6 pies y la resistividad del conductor se obtiene del NEC en la tabla 8, para el calibre de la fase, en este caso, un número #300 KCMIL, con un valor de 0,0446 ( $\Omega/m$ ); aplicando la fórmula anterior, se obtiene una caída de tensión de 1,05 %.
- En el código eléctrico nacional (NEC) se permite, como máximo de caída de tensión entre la acometida y la de los circuitos ramales, un 5%, siempre y cuando la suma sea igual o menor a este porcentaje (5%).

**Tabla 4.8 Resumen de caída de tensión de circuitos ramales (planta baja)**

Descripción	Cable AWG THHN	Resistencia del cable(Ω/m)	Potencia (Va)	Voltaje (V)	Distancia Aproxim( m) a (pies)	Corriente (A)	% Caída de tensión
Iluminación cuarto de servicio, área común servicio, cuarto de servicio 2	12	2,05	1484,4	120	15m=49,2 pies	12,37	2,07
Iluminación lavandería, cuarto tanque agua, cuarto eléctrico	12	2,05	805	120	9m=29,52 pies	6,70	0,67
Iluminación bodega 1 y 2	12	2,05	718,4	120	29m=95,12 pies	5,98	1,94
Iluminación cocina	12	2,05	1234	120	15m=49,2 pies	10,28	1,72
Iluminación área de BBQ	12	2,05	2247,4	120	15m=49,2 pies	18,72	2,69
Iluminación área familiar	12	2,05	1753	120	15m=49,2 pies	14,60	2,45
Iluminación Baños 1,2,3 y 4	12	2,05	469,2	120	20m=65,6 pies	3,91	0,87
Iluminación closet 1 y 2	12	2,05	197,8	120	29m=95,12 pies	1,64	0,53
Iluminación bar	12	2,05	417,8	120	34m= 111,52 pies	3,48	1,32
Iluminación comedor	12	2,05	1192	120	24m=78,72pies	9,93	2,76
Iluminación Cuarto de billar	12	2,05	409,2	120	23m=75,44 pies	3,41	1,32
Iluminación Patio de tendido	12	2,05	264,8	120	5m=16,4 pies	2,20	0,12
Iluminación Sala	12	2,05	831,6	120	30m= 98,42 pies	6,93	2,32
Tomas cuarto de servicio, área común de servicio, cuarto de servicio 2	12	2,05	2340	120	15m=49,2 pies	19,5	3,27
Tomas lavandería, cuarto tanque agua, cuarto eléctrico	12	2,05	1640	120	9m=29,52 pies	13,66	1,37
Tomas bodega 1 y 2	12	2,05	540	120	29m=95,12 pies	4,5	1,46
Tomas cocina y comedor	12	2,05	1440	120	24m=78,72 pies	12	3,22
Tomas área de BBQ	12	2,05	1080	120	21m=68,88 pies	9	2,11
Tomas área familiar	12	2,05	540	120	15m=49,2 pies	4,5	0,75
Tomas Baños 1,2,3 y 4	12	2,05	720	120	20m=65,6 pies	6	1,34
Tomas closet 1 y 2	12	2,05	360	120	29m=95,12 pies	3	0,97
Tomas bar	12	2,05	417,8	120	39m= 127,92 pies	3,48	1,52
cocina	10	1,29	8000	240	14m=45,92 pies	33,33	1,64
Horno	10	1,29	6000	240	16m=52,48 pies	25	1,41
Calentador de agua (TAC)	6	0,2	12000	240	3m=9,84 pies	50	0,2
Microondas	12	2,05	1200	240	16m=52,48 pies	5	0,44
Laveplatos	12	2,05	1200	240	16m=52,48 pies	5	0,44
Triturador	12	2,05	900	240	14m=45,92 pies	3,75	0,29
Secadora	12	2,05	3000	240	9m=29,52 pies	20,83	1,05
Tomas sala	12	2,05	831,6	120	30m=98,42 pies	6,93	2,33
Tomas patio de tendido	12	2,05	264,8	120	5m=16,4 pies	2,20	0,1
Tomas de cuarto de billar	12	2,05	409,2	120	23m=75,44pies	3,41	0,87

Fuente propia

**Tabla 4.9 Resumen de caída de tensión de circuitos ramales (planta alta)**

Descripción	Cable AWG THHN	Resistencia del cable( $\Omega/m$ )	Potencia (Va)	Voltaje (V)	Distancia Aproxim. (m)	Corriente (A)	Caída de tensión (%)
Iluminación Cuartos 1 y 2	12	2,05	1740,6	120	22m=72,16 pies	14,50	3,57
Iluminación Cuartos 3 y 4	12	2,05	1719,8	120	12m=39,36 pies	14,33	1,92
Iluminación Servicios sanitarios 1,2,3 y 4	12	2,05	686,8	120	16m=52,48 pies	5,72	1,02
Iluminación Balcón 1,2,3,4 y 5	12	2,05	1155,4	120	39m=127,92 pies	9,62	4,2
Iluminación closet 1 y 2	12	2,05	180,6	120	35m=114,8 pies	1,505	0,58
Iluminación W.I.C 1,2,3,4 y 5	12	2,05	1582,2	120	22m=72,16 pies	13,18	3,24
Iluminación sala de TV y pasillo	12	2,05	1751,2	120	24m= 78,72 pies	14,59	3,92
Iluminación área de aseo y sala	12	2,05	1060,5	120	30m=98,4 pies	8,83	2,96
Iluminación Área 1	12	2,05	815,6	120	51m=167,28 pies	6,79	3,86
Iluminación área de descanso	12	2,05	1449	120	25m=82 pies	12,07	3,38
Tomas cuartos 1	12	2,05	859,6	120	22m=72,16 pies	7,16	1,76
Tomas servicios sanitarios 1,2,3 y 4	12	2,05	720	120	12m=39,36 pies	6	0,8
Tomas Balcón 1	12	2,05	560,6	120	39m=127,92 pies	4,67	2,04
Tomas closet 1 y 2	12	2,05	180,6	120	35m=114,8 pies	1,50	0,58
Tomas W.I.C 1,2,3,4 y 5	12	2,05	720	120	22m=72,16 pies	6	1,47
Tomas sala de TV y pasillo	12	2,05	1080	120	24m=78,72 pies	9	2,42
Tomas área de aseo y sala	12	2,05	540	120	30m=98,4 pies	4,5	1,51
Tomas de área 1 y área de descanso	12	2,05	900	120	45m=147,6 pies	7,5	3,78
Tomas área de juego	12	2,05	1080	120	35m=114,8 pies	9	3,53
Tomas cuarto 2	12	2,05	881	120	12m=39,36 pies	7,34	0,98
Tomas cuarto 3	12	2,05	887,4	120	5m=16,4 pies	7,395	0,41
Tomas cuarto 4	12	2,05	832,4	120	11m=36,08 pies	6,93	0,85
Tomas Balcón 2	13	3,05	120,8	120	18m=59,04 pies	1	0,2
Tomas Balcón 3	14	4,05	77,6	120	19m=62,32 pies	0,64	0,13
Tomas Balcón 4	15	5,05	207,4	120	29m=95,12 pies	1,72	0,55
Tomas Balcón 5	16	6,05	189,6	120	22m=72,16 pies	1,58	0,38

Fuente propia

Para las tablas 4.8 y 4.9, como se observa, es el cálculo de caída de tensión en circuitos ramales para cada planta: baja y alta.

Nótese que en algunos casos, en la columna de descripción de las tablas anteriormente mencionadas, se detallan dos o más recintos en una sola carga; esto es debido a la poca potencia de cada uno de ellos (recintos), por lo tanto se agrupan de esta manera; de igual forma, también lo que se pretende es reducir los circuitos ramales para alcanzar una mayor eficiencia en el diseño.

El valor de la resistencia utilizado para el cálculo de la caída de tensión proviene de la tabla 8 NEC, con el título de “Propiedades de los conductores “, este se establece de acuerdo al calibre de conductor, ya sea en cobre o en aluminio.

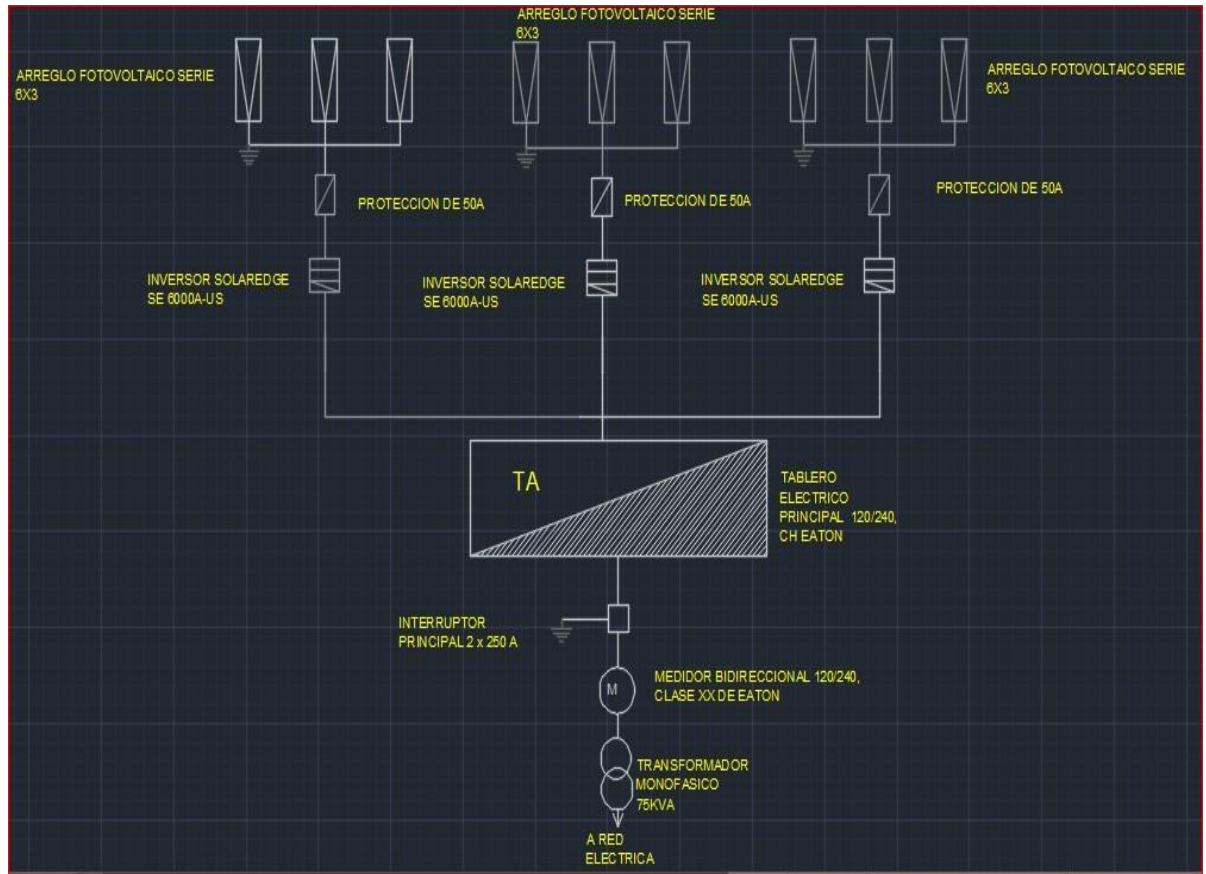
De igual manera, como se muestra en las respectivas tablas, se tiene dos subdivisiones: iluminación y tomas, esto con el fin de poder ser más ordenado y preciso; por esto, para un eventual caso de análisis correspondiente, todo estará etiquetado de la mejor manera posible.

#### **4.1.1.16 Acometida eléctrica y puesta a tierra**

De acuerdo al calibre de los conductores calculados para el tablero y el interruptor principal, donde el conductor de fase AWG calibre # 4/0 THHN ,dos hilos de fase y uno para el neutro , los cuales estarán canalizados en una tubería EMT 32 mm; también tomar en cuenta que al final de la condeleta se deben dejar unas colas de cables de 60 cm para la puesta a tierra donde se empleara un conductor AWG calibre # 2 THHN CU, el cual estará conectado a

una varilla cooperweld de cobre 19mm diámetro y de 3 metros de longitud, el electrodo de puesta a tierra no debe ser superior a 5 ohmios.

**Figura 4.7 Diagrama unifilar de Interconexión al Sistema Eléctrico**



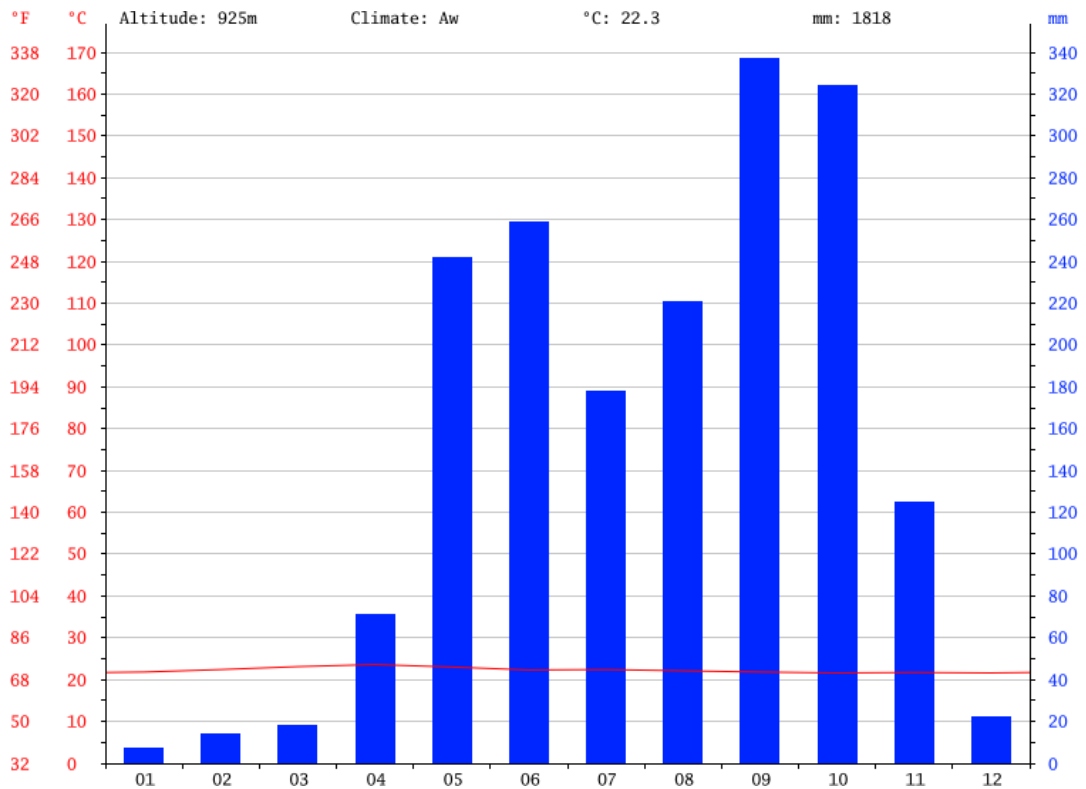
Fuente propia de CAD, Sin Escala.

## 42 Información climatológica de Santa Ana, San José, mediante el software Solarius PV

A continuación, se analizará una serie de características climatológicas de Santa Ana, San José, las cuales servirán para ver la viabilidad y rentabilidad de la producción de energía eléctrica por medio de sistemas fotovoltaicos, para

ellos se requiere una serie de datos importantes de la zona, como por ejemplo la radiación solar diaria por una fuente confiable

**Figura 4.8 Meses con mayor precipitación para la zona de Santa Ana, San José**

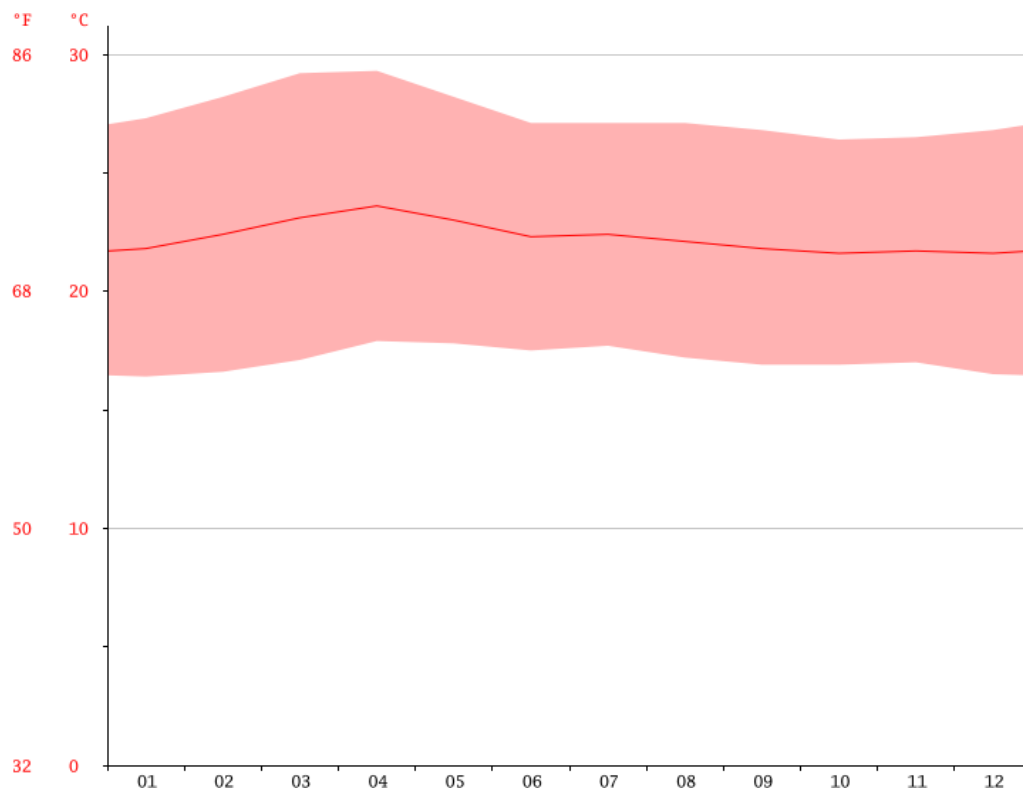


Fuente: Climate-Date.or

En la figura 4.8 se destacan los meses con mayor precipitación para el área en donde se instalará el sistema fotovoltaico; por ende, se prevé que en estos meses se dé la menor producción de electricidad debido a las precipitaciones que se muestran en el gráfico. Para mayor exactitud, los meses con mayores precipitaciones son setiembre y octubre, con precipitaciones de hasta de 340

mm, lo que es equivalente a 340 litros por metro cuadrado. De acuerdo con la fuente del gráfico, estos cálculos se hicieron a una altitud de 925 metros.

**Figura 4.9 Diagrama de temperatura Santa Ana, San José**



Fuente: Climate-Date.org

En la figura anterior 4.9 se denotan, en el eje “x”, los meses y en el eje “y”, las diferentes escalas de temperaturas, en este caso Fahrenheit y Celsius respectivamente. Como se logra apreciar en la imagen, los meses con mayor temperatura en la zona de Santa Ana son de marzo y abril, en los cuales se presenta la mayor sequía del año.

**Figura 4.10 Precipitaciones entre el mes más seco y húmedo del año**

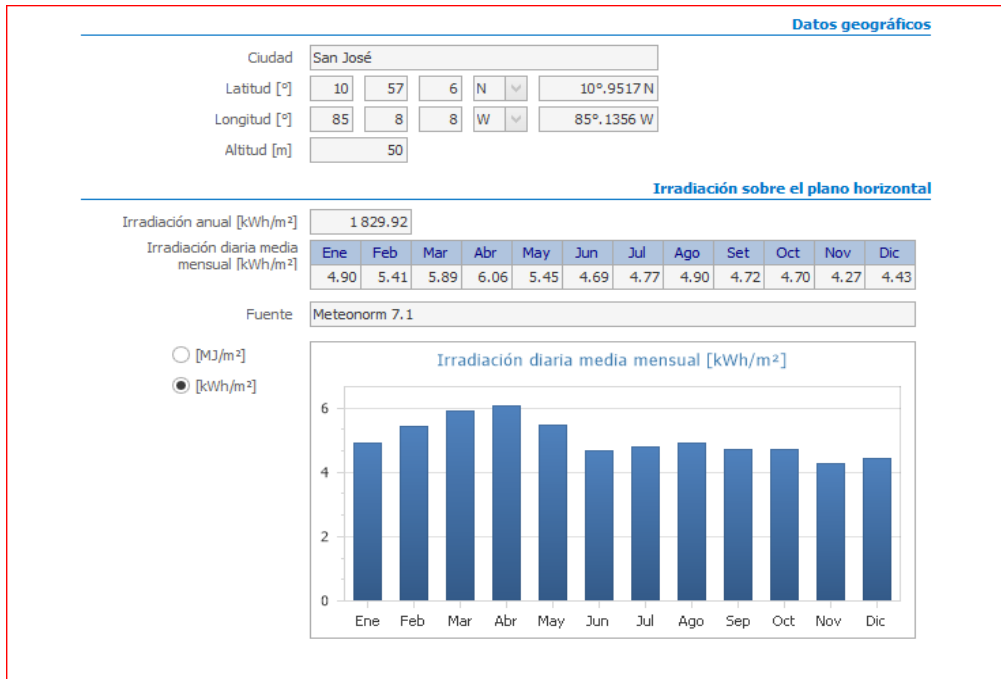
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	21.8	22.4	23.1	23.6	23	22.3	22.4	22.1	21.8	21.6	21.7	21.6
Temperatura mín. (°C)	16.4	16.6	17.1	17.9	17.8	17.5	17.7	17.2	16.9	16.9	17	16.5
Temperatura máx. (°C)	27.3	28.2	29.2	29.3	28.2	27.1	27.1	27.1	26.8	26.4	26.5	26.8
Temperatura media (°F)	71.2	72.3	73.6	74.5	73.4	72.1	72.3	71.8	71.2	70.9	71.1	70.9
Temperatura mín. (°F)	61.5	61.9	62.8	64.2	64.0	63.5	63.9	63.0	62.4	62.4	62.6	61.7
Temperatura máx. (°F)	81.1	82.8	84.6	84.7	82.8	80.8	80.8	80.8	80.2	79.5	79.7	80.2
Precipitación (mm)	7	14	18	71	242	259	178	221	337	324	125	22

Fuente: Climate-Date.org

#### 4.2.1 Irradiación anual en Santa Ana, San José

En la siguiente figura se detalla la irradiación solar para la zona de San José; se especifica la irradiación anual de 1829,92 Kwh/m<sup>2</sup>, así como los meses con mayor irradiación solar en esta área. Estos cálculos se hacen mediante la utilización de un software especializado, el cual permite ser más exactos a la hora de calcular la cantidad de paneles necesarios para dicha vivienda.

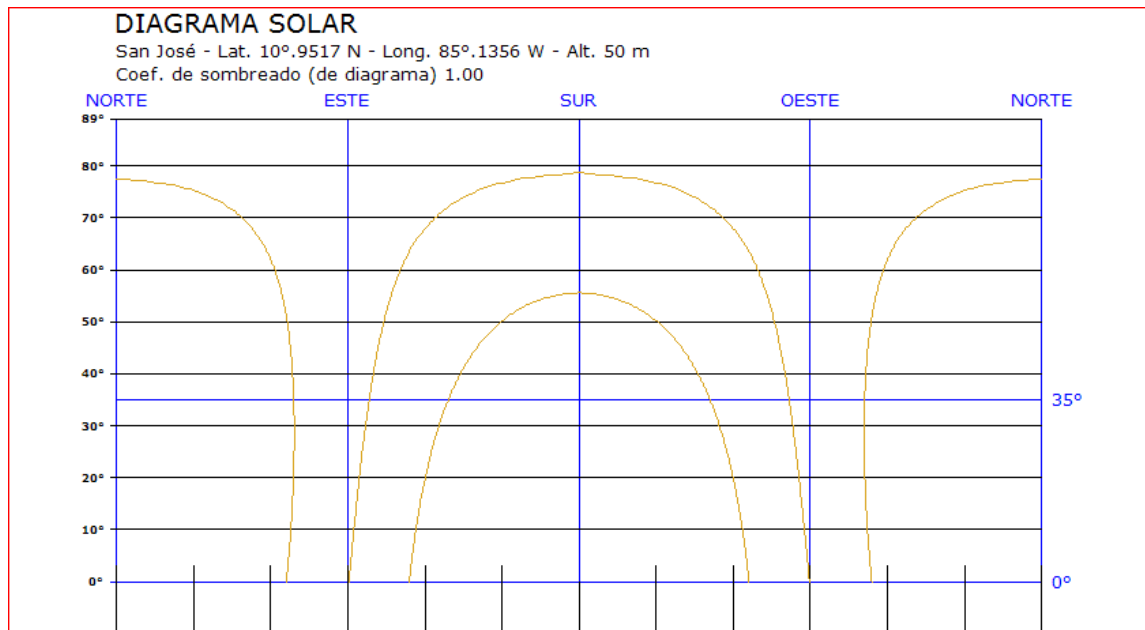
**Figura 4.11 Irradiación anual solar para la zona de Santa Ana, San José**



**Fuente: Software Solarius PV**

Como se destaca en la figura 4.11, el gráfico de la irradiación diaria media solar en kwh/m<sup>2</sup>, existe un promedio de 5,01 kwh/m<sup>2</sup> al mes, lo cual es muy bueno, se ven los meses con mayor irradiación solar, en este caso marzo y abril; por lo tanto, se prevé una mayor producción de energía eléctrica debido a la gran irradiación presente en estos meses.

**Figura 4.12. Diagrama solar**



Fuente: Software Solarius PV

De la gráfica anterior se puede analizar una serie de factores, los cuales son de gran importancia para la instalación de los módulos fotovoltaicos; estos se relacionan con la posición y el ángulo en que se instalarán dichos componentes; por ende, del diagrama solar se puede interpolar, con un radio de proyección y su ángulo de inclinación, datos de mucha importancia para la instalación de un sistema fotovoltaico

#### 4.2.2 Diseño de sistema fotovoltaico

El diseño implementado por un sistema fotovoltaico conectado a la red se realiza con el fin de poder erradicar posibles fallos o excedentes en la red. Cuando se produzca una potencia mucho mayor a la carga demandada, esa energía se entregará a la red, para casos en los que más bien se necesite energía, ya sea por algún factor climatológico o desperfecto, la red estaría

entregando la potencia necesaria para satisfacer las necesidades de la vivienda.

#### 4.2.3 Información climatológica de Santa Ana, San José, proporcionado por la NASA

Latitud: 9.93

Longitud: -84.183

**Tabla 4.10 Información climatológica (NASA)**

Mes	Temperatura del aire °C	Radiación Solar mensual en kW/m2
Enero	25.1	5.92
Febrero	26	6.05
Marzo	26.6	7.02
Abril	26.7	6.42
Mayo	25.8	5.23
Junio	25.4	4.85
Julio	25.2	4.87
Agosto	25.2	4.87
Septiembre	25	4.74
Octubre	24.7	4.56
Noviembre	24.6	4.63
Diciembre	24.6	5.30
<b>Promedio</b>	<b>25.4</b>	<b>5.42</b>

Fuente: [Atmospheric Science Data Center \(NASA\)](#)

En la tabla 4.10 se observa la radiación solar mensual proporcionada por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, en sus siglas en inglés NASA; al hacerse una comparación con el software Solarius PV, se obtienen

resultados similares, con un 0,41% de porcentaje de diferencia entre ellos; por lo tanto, se utilizarán los datos del software Solarius para los respectivos cálculos de los paneles solares.

#### **4.3 Cálculo de potencia en Kwh/mes de la unidad de vivienda**

A continuación se detallará el cálculo de potencia en Kwh/mes, en la siguiente tabla, la cual se divide por una serie de componentes eléctricos con su respectiva potencia eléctrica, cantidad, y consumo en Kwh/mes; esto se realiza con el fin tener un parámetro de consumo para el cálculo del sistema fotovoltaico necesario que satisfaga la carga demandada de la vivienda.

$$KW/mes = \frac{Potencia (W) * Horas al mes * Cantidad de dispositivos}{1000}$$

##### **Ecuación 4.3.1.1 Formula para el cálculo de energía en KWh/mes**

En la tabla 4.12 con el título "Estimación mensual del consumo eléctrico de la unidad de vivienda", para efectos de los cálculos en KWh/mes (Kilo-watts hora-mes), este se basó en la sección de eficiencia energética del grupo ICE, donde se estiman las horas de utilización diaria de electrodomésticos u otros equipos, como también especifican el consumo en KWh consumo promedio mensual y potencia en watts de diferentes artefactos eléctricos, como por ejemplo para las luminarias se tiene establecido un uso diario de 6 horas entre los periodos de 6 pm a 12 pm de la noche, como se detalla en la tabla 4.11.

Además, de estas referencias anteriormente mencionadas, el plano arquitectónico de la unidad de vivienda es el punto de partida más importante, al ser de dos plantas, los dispositivos por utilizar son mucho mayores en

cantidad a los de una casa convencional; por lo tanto, se debe ser lo más preciso posible con el cálculo de aparatos eléctricos por recintos de la vivienda.

Para ello se utiliza el plano arquitectónico, en el cual se define la ubicación y la cantidad de componentes eléctricos a convenir de acuerdo con el área en análisis; no obstante, cabe destacar que la cantidad está ligada directamente con la capacidad de tomas en dicha área.

Todo lo anterior para finalmente hacer un análisis de consumo diario, mensual (se completan meses de 30 días) y anual. Estos valores serán utilizados seguidamente para el cálculo del sistema fotovoltaico necesario que satisfaga las necesidades de la unidad de vivienda

**Tabla 4.11 Estimación Horas-Uso de cada carga**

Electrodoméstico	Horas de Uso por mes	Horas o minutos de Uso diarias
Luminarias	180	6 horas
Termo duchas	30	1 hora
Computadoras	10	20 minutos
Laptop	15	30 minutos
Televisor	20	40 minutos
Home Theater	8	16 minutos
DVD	8	16 minutos
Play Station	60	2 horas
Lavadora de ropa	10	20 minutos
Secadora de ropa	8	16 minutos
Calentador de agua	20	40 minutos
Microondas	10	20 minutos
Olla Arrocera	30	1 hora
Coffe Maker	10	20 minutos
Licudora	4	8 minutos
Batidora	3	6 minutos
Sartén eléctrico	10	20 minutos
Tostador de pan	10	20 minutos
Equipo de sonido	10	20 minutos
Refrigeradora	250	8 horas y 30 minutos

Lavaplatos	7	14 minutos
Cocina	20	40 minutos

En la tabla 4.11 se detalla la estimación de horas mensuales y diarias para cada uno de los dispositivos eléctricos, este cálculo está basado en un sistema nuevo implementado por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), llamado “calculadora energética”, como se especifica en la siguiente figura.

**Figura 4.13 Calculadora energética CNFL**

The screenshot shows the CNFL Energy Calculator interface. At the top, there is a navigation bar with the CNFL logo and menu items: INICIO, CNFL EN LÍNEA, NUESTROS SERVICIOS, COMUNICACIÓN, and SOBRE CNFL. Below the navigation bar is a breadcrumb trail: Inicio / Calculadora Energética CNFL. The main content area features a calculator interface with a table of columns: Aparato, Cantidad, Watts, Kw, Horas al día, Días al mes, kWh. Below the calculator is a table showing a single entry for 'luminarias' with values: Cantidad 122, Watts 20W, KW 0.02Kw, Horas al día 3, Días al mes 30, kWh 219.59999999999997. At the bottom, a 'Total' box shows 219.59999999999997 kWh.

**Fuente: CNFL**

**Tabla 4.12 Estimación del consumo eléctrico mensual**

Resumen de cálculos Kwh/mes				
Electrodoméstico	Potencia Eléctrica ( W)	Cantidad	Horas por mes	Energía Kwh (mes)
Luminarias	20	122	180	439,2
Termo duchas	4000	5	30	600
Computadoras	70	1	10	0,7
Laptop	20	2	15	0,6
Televisor	150	6	20	18
Home Theater	150	2	8	2,4
DVD	70	5	8	2,8
Play Station	70	5	60	21
Lavadora de ropa	1000	1	10	10
Secadora de ropa	5000	1	8	40
Calentador de agua	12000	1	20	240
Microondas	1200	3	10	36
Olla Arrocera	300	2	30	18
Coffe Maker	800	2	10	16
Licuada	150	2	4	1,2
Batidora	150	2	3	0,9
Sarten eléctrico	1200	1	10	12
Tostador de pan	1000	1	10	10
Equipo de sonido	200	2	10	4
Refrigeradora	700	2	250	350
Lavaplatos	1200	2	7	16,8
Cocina	8000	1	20	160
<b>Totales</b>	<b>63250 W</b>		<b>Total KWh/día</b>	<b>66,653</b>
			<b>Total KWh/mes</b>	<b>1999,6</b>
			<b>Total KWh/año</b>	<b>23995,5</b>

#### 44 Cálculo de número de módulos fotovoltaicos

Para efectos de cálculos, se toma en cuenta el mes con menor irradiación solar, en este caso es noviembre; luego se dimensionará con el mes más desfavorable para así asegurarse cubrir la demanda durante todo el año. Para ello se debe tener en consideración que 1 hora solar pico es igual a 1 KWh/m<sup>2</sup>, como también es igual a 3,6 MJ/m<sup>2</sup>, partiendo de este hecho, da como resultado 4,27 HSP (Horas Solar Pico).

En efecto, a partir del cálculo de la cantidad de paneles solares, se ha elegido el panel solar marca CSUN, modelo 325-72P, el cual trabaja con una potencia nominal máxima de 325 W.

Se detalla a continuación los cálculos necesarios para el sistema fotovoltaico, apoyados en el consumo eléctrico de la unidad de vivienda y los aspectos climatológicos anteriormente expuestos.

Fórmula para el cálculo del número de módulos fotovoltaicos.

$$NP = \frac{E}{0.9 \times Wp \times hsp}$$

0.9= Coeficiente de rendimiento del panel, típicamente (0,85 - 0,90 al descontar las perdidas)

NP= Número de paneles solares necesarios.

E= Consumo energético real en Watts diarios.

Wp= Potencia Pico del panel en Watts.

Hsp= Horas pico solar del mes de menor irradiación.

#### **4.4.1 Cálculo de porcentajes de cobertura carga demandada**

Mediante este cálculo se hará un análisis de la cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios para satisfacer una serie de casos, los cuales se expondrán a continuación.

Basado en análisis del consumo energético y económicos, los cuales arrojan resultados para elegir el caso más idóneo y factible para el proyecto, se obtienen los siguientes casos.

**Caso # 1:** Producción de energía por medio de sistema fotovoltaico que cubra el área total de techos.

**Caso # 2:** Producción de energía por medio de sistema fotovoltaico que cubra el 100% de la carga demandada por la vivienda, al ser un sistema conectado a la red, en meses en los cuales haya menos irradiación solar y no se supla con las necesidades de demanda, el sistema descargará la energía necesaria de la red de la CNFL.

**Caso # 3:** Producción de energía por medio de sistema fotovoltaico que cubra el 50% de la carga demandada por la vivienda con inversores y el caso 3.1 con microinversores.

##### **Caso # 1: Área total de techos (500m<sup>2</sup>)**

Para este caso se considerarán 500 m<sup>2</sup>, de los 517.26 m<sup>2</sup> de techos disponible para la instalación de paneles solares, los 17.26 m<sup>2</sup> restantes se

dejarán como espacio para el debido mantenimiento de estos; ahora bien, si se tiene un área de 500 m<sup>2</sup> para instalar los paneles, este valor se debe de dividir entre el área de cada panel (1.92m<sup>2</sup>), para así tener un valor adimensional; en este caso, corresponde a la cantidad de paneles necesarios para satisfacer esa área. El resultado es de 259.06, por lo tanto, se tiene que para suplir el área de 500m<sup>2</sup>, se deben instalar 260 módulos fotovoltaico.

Para el cálculo de la potencia generada mensualmente (Tabla 4.13) por los 260 paneles solares se debe utilizar la siguiente formula;

$$Potencia\ entregada = N_p \times W_p \times h_{sp} \text{ (por mes)} \times \text{días (del mes)}$$

Donde; N<sub>p</sub>= Número de paneles

W<sub>p</sub>= Potencia pico del panel

H<sub>sp</sub>= Horas solar pico para cada mes

Mediante la siguiente fórmula se calculará el porcentaje de generación para este caso;

$$\%Generacion = \frac{Potencia\ entregada}{Potencia\ requerida} \times 100$$

$$\%Generacion = \frac{153842.8\text{ kWh/Año}}{23995.5\text{ Kwh/Año}} \times 100 = 641\%$$

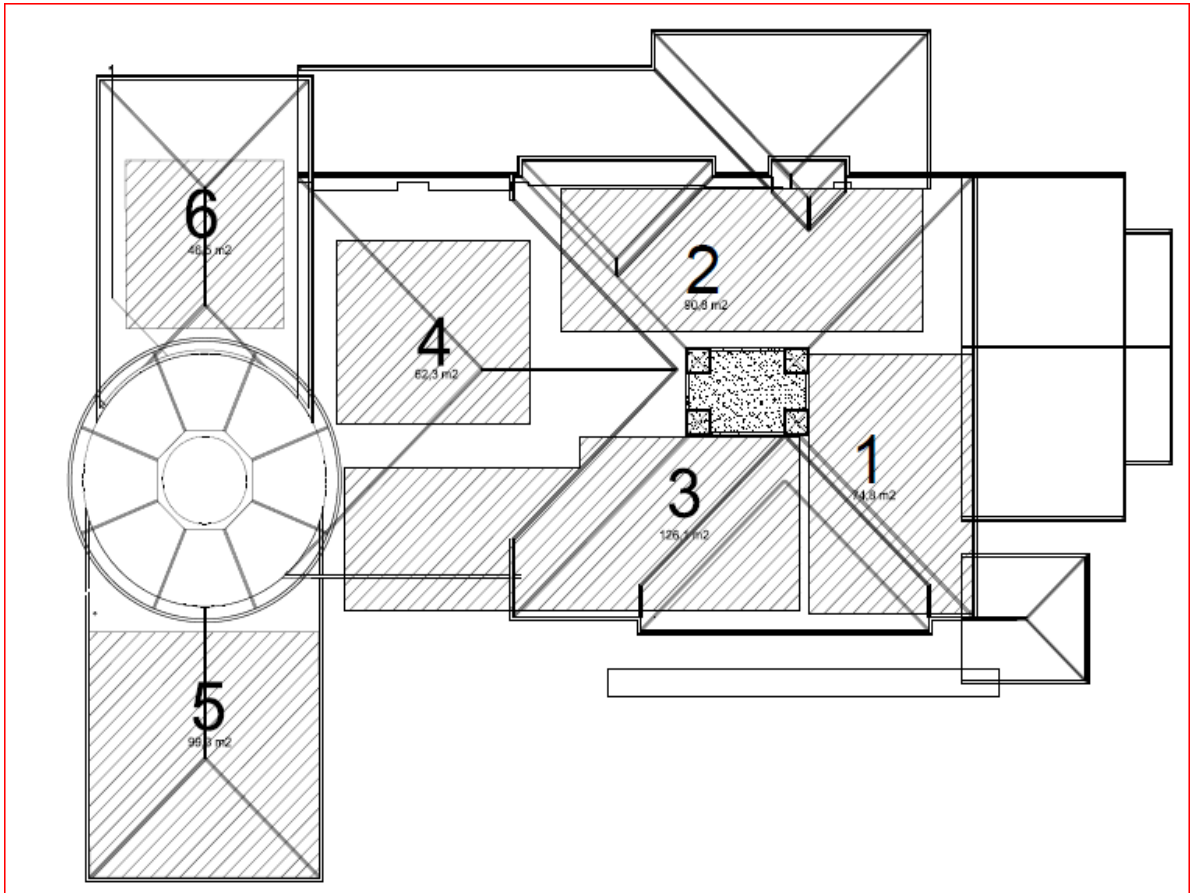
**Tabla 4.13 Potencia generada por 500 m2 de área de techos**

Mes	Horas Solar Pico (HSP)	Potencia módulos(KW)	Días por mes	Kwh/mes
Enero	4,90	84,50	31	12835,6
Febrero	5,41	84,50	28	12800,1
Marzo	5,89	84,50	31	15428,9
Abril	6,06	84,50	30	15362,1
Mayo	5,45	84,50	31	14276,3
Junio	4,69	84,50	30	11889,2
Julio	4,47	84,50	31	11709,2
Agosto	4,90	84,50	31	12835,6
Setiembre	4,72	84,50	30	11965,2
Octubre	4,70	84,50	31	12311,7
Noviembre	4,27	84,50	30	10824,5
Diciembre	4,43	84,50	31	11604,4
			<b>Total Anual</b>	<b>153842.8</b>

Fuente: propia

Mediante los cálculos realizados anteriormente como se observa en la tabla 4.12, el cual corresponde al Caso #1, genera una potencia anual de 153842.8 Kwh.

Figura 4.14 Área de 500 m2 de techos a utilizar para el caso 1



## Caso #2: 100% del consumo

A continuación, se calculará la cantidad de paneles necesarios para satisfacer el 100% del consumo de la unidad de vivienda, para ello se hace uso de la tabla 4.12, donde se especifica que la carga demanda al 100% corresponde a 66,653 KWh diarios.

$$NP = \frac{66653 \text{ W}}{0,9 \times 325 \text{ W} \times 4,27} = 54$$

Para satisfacer el 100% del consumo de la unidad de vivienda se deben de implementar 54 módulos fotovoltaicos

Para el cálculo de la potencia generada mensualmente (Tabla 4.14) por los 54 paneles solares se debe utilizar la siguiente formula:

$$\text{Potencia entregada} = N_p \times W_p \times h_{sp} \text{ (por mes)} \times \text{días (del mes)}$$

Donde:

$N_p$ = Número de paneles

$W_p$ = Potencia pico del panel

$h_{sp}$ = Horas solar pico para cada mes

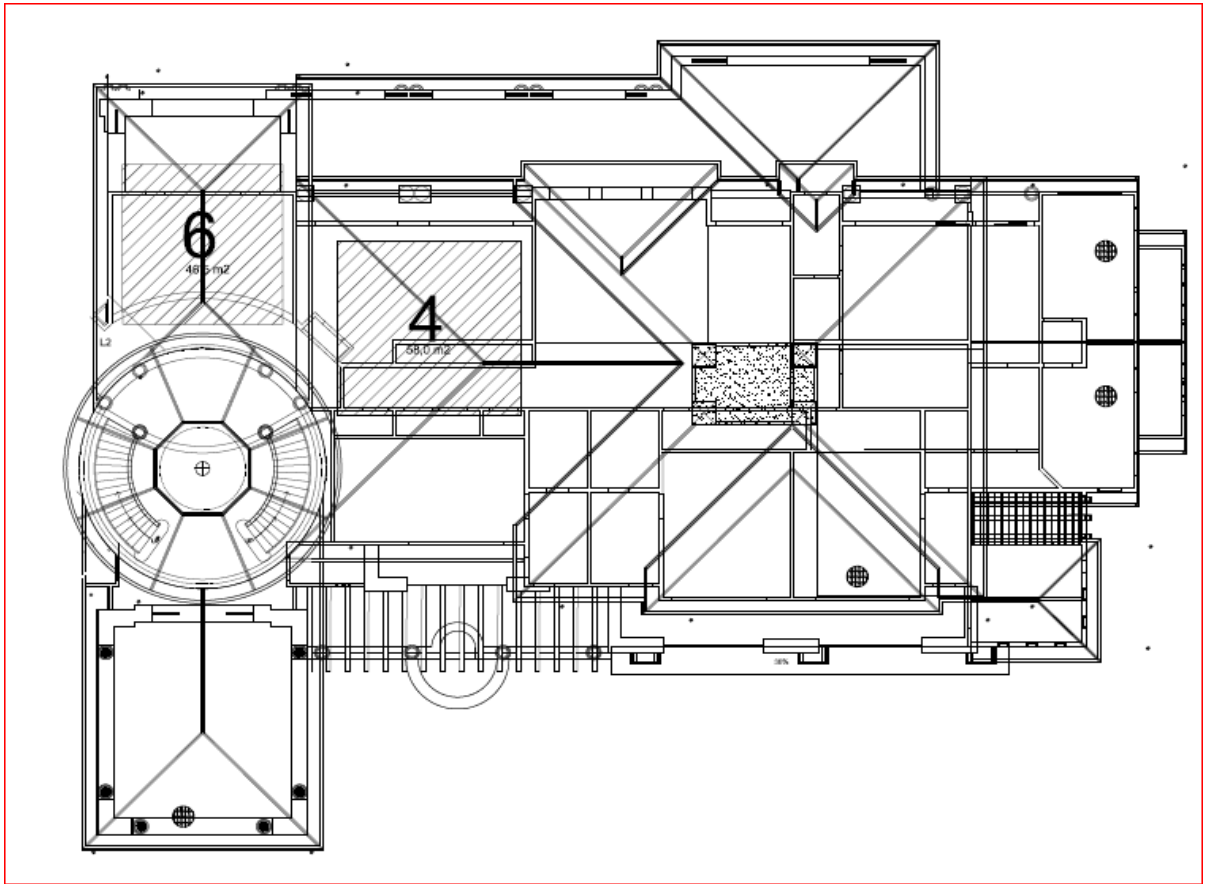
**Tabla 4.14 Potencia generada por el 100% del consumo**

Mes	Horas Solar Pico (HSP)	Potencia módulos(KW)	Días por mes	Kwh/mes
Enero	4,90	17,55	31	2665,9
Febrero	5,41	17,55	28	2658,5
Marzo	5,89	17,55	31	3204,5
Abril	6,06	17,55	30	3190,6
Mayo	5,45	17,55	31	2965,1
Junio	4,69	17,55	30	2469,3
Julio	4,47	17,55	31	2431,9
Agosto	4,90	17,55	31	2665,9
Setiembre	4,72	17,55	30	2485,1
Octubre	4,70	17,55	31	2557,1
Noviembre	4,27	17,55	30	2248,2
Diciembre	4,43	17,55	31	2410,2
			<b>Total Anual</b>	<b>31952,3</b>

Fuente: propia

Mediante los cálculos realizados anteriormente como se observa en la tabla 4.14, el cual corresponde al caso #2 genera una potencia anual de 31952,3 Kwh.

Figura 4.15 Área de 104,6 m2 de techos por utilizar para el caso 2



### **Caso # 3: 50% del consumo**

A continuación, se calculará el 50% del consumo de la unidad de vivienda, para ello se hace uso de la tabla 4.12 de consumo eléctrico, para este caso corresponde a 32650 KWh diarios.

$$NP = \frac{33326.5 \text{ W}}{0,9 \times 325 \text{ W} \times 4,27 \text{ hsp}} = 27$$

Para satisfacer el 50% del consumo de la unidad de vivienda se deben de implementar 27 módulos fotovoltaicos.

Para el cálculo de la potencia generada mensualmente (Tabla 4.15) por los 27 paneles solares se debe utilizar la siguiente formula:

$$Potencia \ entregada = Np \times Wp \times hsp \text{ (por mes)} \times días \text{ (del mes)}$$

Donde;

Np= Número de paneles

Wp= Potencia pico del panel

Hsp= Horas solar pico para cada mes

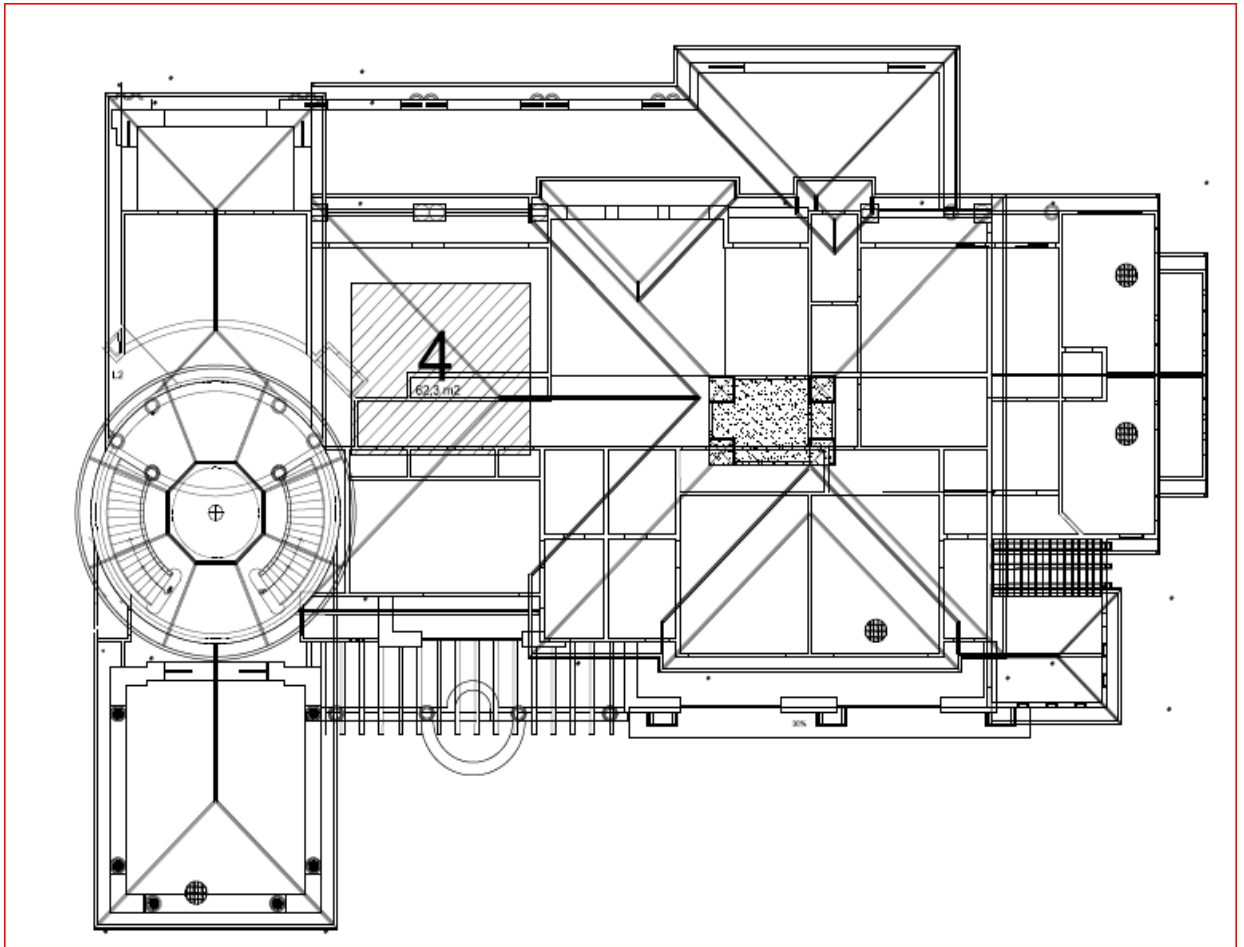
**Tabla 4.15 Potencia generada por el 50% del consumo**

Mes	Horas Solar Pico (HSP)	Potencia módulos(KW)	Días por mes	Kwh/mes
Enero	4,90	8,775	31	1332,9
Febrero	5,41	8,775	28	1329,2
Marzo	5,89	8,775	31	1602,3
Abril	6,06	8,775	30	1595,3
Mayo	5,45	8,775	31	1482,5
Junio	4,69	8,775	30	1234,6
Julio	4,47	8,775	31	1216
Agosto	4,90	8,775	31	1332,1
Setiembre	4,72	8,775	30	1242,6
Octubre	4,70	8,775	31	1278,5
Noviembre	4,27	8,775	30	1124,1
Diciembre	4,43	8,775	31	1205,1
			<b>Total Anual</b>	<b>15975,9</b>

Fuente: propia

Mediante los cálculos realizados anteriormente, como se observa en la tabla 4.15 del caso #3, se genera una potencia anual de 15975,9 Kwh/Año

Figura 4.16. Área de de techos por utilizar para el caso 3



**Tabla 4.16 Comparación de energía generada por cada caso**

<b>CASO</b>	<b>CANTIDAD DE PANELES</b>	<b>POTENCIA GENERADA Kwh/Año</b>	<b>CONSUMO ELECTRICO</b>
Caso 1	260 paneles	153,842.8	641%
Caso 2	54 paneles	31,952.3	100%
Caso 3	27 paneles	15,975.9	50%
Caso 3.1	27 paneles	15,975.9	50%

#### **4.5 Comparación entre inversores centralizados y micro-inversores**

Para elegir entre inversores y micro-inversores, se hace la siguiente comparación entre ellos para definir el tipo de inversor a utilizar en la instalación del sistema fotovoltaico.

**Tabla 4.17 Ventajas y desventajas de un inversor centralizado**

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tienen una alta eficiencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación es un poco más complicada.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tienen un largo historial en el mercado por lo que son una tecnología confiable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se puede monitorear la energía que produce cada panel solar individualmente.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Su costo por vatios es menor al de un micro-inversor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajan a un voltaje más alto, lo cual requiere que se tomen medidas de precaución.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantenimiento es más sencillo porque es un solo componente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Por su tamaño requieren un espacio adecuado para ser instalados.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hacen un poco ruido.</li> </ul>

## Paneles Solares PR.

Como se logra observar en la tabla anterior las ventajas más llamativas del inversor centralizado están: alta eficiencia, es mucho más barato que los micro-inversores y su mantenimiento es mucho más sencillo al ser solo un componente.

Mediante la siguiente tabla se hará una comparación entre las ventajas y desventajas de un micro-inversor.

**Tabla 4.17 Ventajas y desventajas del micro-inversor**

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJA</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Simplifican el diseño de los sistemas fotovoltaicos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Son más costosos (\$/vatio) que un inversor central.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• La instalación del sistema fotovoltaico usualmente es más sencilla.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Su eficiencia es un poco más baja a la de un inversor central.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• En lugares donde hay problemas de sombra, son más convenientes porque una sombra no compromete la producción de energía de todo el sistema fotovoltaico</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mantenimiento puede ser más complicado debido a que son varias unidades en un solo arreglo de paneles solares.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Permiten monitorear la energía que produce cada panel individualmente.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Comparado con el inversor central no hay mucha variedad en el mercado.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Si un micro-inversor falla, solo se afecta la producción de energía de un solo panel solar.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Debido a que se instalan debajo del panel solar, pueden ser propensos a presentar problemas a temperaturas bien altas.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Son silenciosos.</li></ul>	

**Fuente: Paneles Solares PR**

Como se logra observar en la tabla anterior, las ventajas más llamativas del micro- inversor están en: El monitoreo de energía de cada panel solar, el factor sombra no compromete la producción del sistema y si en algún caso un micro- inversor falla solo afectaría directamente a un panel solar.

#### 4.6 Cálculo del inversor

El cálculo del inversor está dado por la cantidad de paneles solares, como también la potencia máxima o pico de cada panel.

$$P_{Inv} = Wp \times NP$$

Donde:

$P_{inv}$ = Potencia del inversor

$Wp$ = Potencia pico del panel

$NP$ = Número de paneles solares

El inversor seleccionado es el siguiente SOLAREEDGE SE 6000A-US, con potencia máxima de 6000 W y un voltaje máximo de 550V.

$$N = \frac{6000w}{325w} = 18,46$$

Mediante el cálculo anterior del inversor, se determinó la cantidad de paneles solares necesarios para cada inversor, en este caso se establece en 18 paneles

por cada inversor; por lo tanto, se necesitan 3 inversores para suplir la demanda de 54 paneles solares.

#### 4.6.1 Cálculo del arreglo de módulos fotovoltaicos

Este cálculo es determinante ya que indica la posición en serie y paralelo que vaya a tener cada módulo (18 paneles) para cada uno de los inversores calculados anteriormente.

Para calcular el número de filas de los módulos fotovoltaicos se debe tener en cuenta una serie de parámetros; en este caso, en la ficha técnica del inversor, se destaca la tensión nominal de entrada que se necesitará en la siguiente fórmula.

$$\text{Número de filas en serie} = \frac{V_{inv}}{V_m}$$

Donde:

$V_{inv}$  = Tensión nominal del inversor

$V_m$  = Tensión de cada panel

$$\text{Nfilas en serie} = \frac{240}{37,7} = 6,36$$

Para determinar el número de columnas en paralelo se debe hacer uso la siguiente formula:

$$\text{Número de columnas} = \frac{I_{inv}}{I_m}$$

Donde:

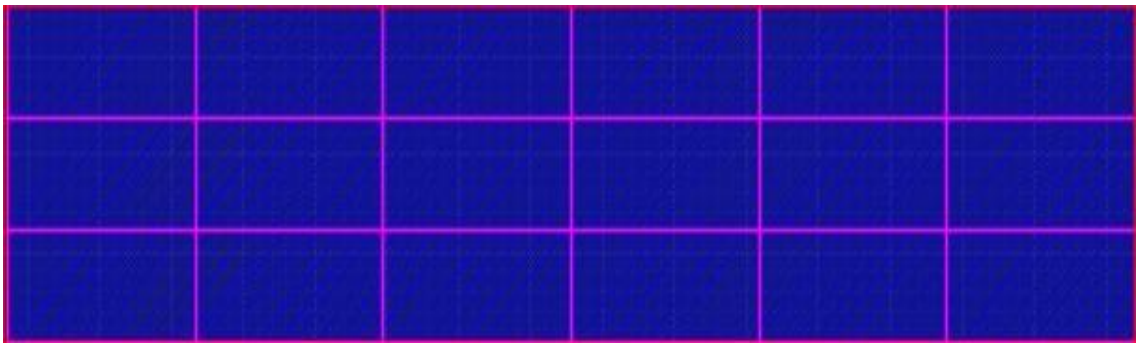
$I_{inv}$  = Corriente del inversor

$I_m$  = Corriente del Panel

$$N_{columnas} = \frac{26,2}{8,62} = 3,03$$

Por lo tanto, los módulos estarán conformados por 6 paneles en serie y tres en paralelo, para tener un total de 18 paneles por inversor

**Figura 4.17 Arreglo de módulos fotovoltaicos**



**Fuente: Propia**

#### **4.6.2 Cálculo de dimensiones de módulos fotovoltaicos**

Para este cálculo se hace referencia a la ficha técnica de los paneles solares (Anexo 4), ya que en ella están las dimensiones de cada panel solar; mediante esta revisión se obtiene que sus dimensiones son: 1956 x 990 x 50 mm. El

número de filas en serie y columnas en paralelo tiene gran relevancia en este cálculo, por ende se utilizará la información calculada anteriormente.

Ancho total de cada arreglo= 1956 mm x 3 = 5,868 m

Largo total de cada arreglo= 990 mm x 6= 5,94m

De esto se deduce que el área total de cada arreglo es el siguiente:

Área total= 5,868 m x 5,94m= 34,85 m<sup>2</sup>

Finalmente se establece que al ser 3 los arreglos necesarios para satisfacer las necesidades del proyecto, estos cubrirán un área total de 104,56 m<sup>2</sup>.

#### 4.6.3 Ángulos de inclinación

Mediante la siguiente fórmula se calculará el ángulo de inclinación máxima que deben de tener los módulos fotostáticos.

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

Donde:

$I_m$  = Ángulo máximo de inclinación

$\Phi$  = Latitud del lugar en donde se instalarán los paneles

Como se especifica en figura 4.2.1.1, la irradiación anual solar para el área de instalación la latitud es de 10,95 grados.

Por ende:

$I_m = 10,95^\circ + 10^\circ$

$Im = 20,95^\circ$

Para efectos de instalación, se recomienda que los módulos fotovoltaicos tengan una inclinación de  $21^\circ$ , para su máximo aprovechamiento energético, los cuales serán instalados en dirección hacia el Sur.

#### **4.6.4 Cálculo de estructuras para la colocación de paneles solares**

De acuerdo a la ficha técnica de cada módulo fotovoltaico, se deducen los siguientes datos:

- Peso por módulo: 22,3 Kg.
- Peso por cada arreglo modular:  $22,3\text{Kg} \times 18 = 401,4 \text{ Kg}$
- Distribución del peso por arreglo:  $401,4 \text{ Kg} / 34,85 \text{ m}^2 = 11,51 \text{ Kg/m}^2$
- Peso total de arreglos=  $401,4 \text{ Kg} \times 3 = 1204,2 \text{ Kg}$

#### **4.7 Análisis Financiero; retorno de inversión**

A continuación, se detalla el análisis financiero realizado a cada uno de los casos de consumo analizados anteriormente, para ello se hace uso de las tarifas actuales para la zona de Santa Ana, San José, donde la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) es la institución que brinda el servicio de distribución y generación de energía para esta zona.

Respectivamente se hará una comparación del sistema con paneles solares y sin ellos; esto se hace con el fin analizar el ahorro que genera el uso de fuentes renovables, en este caso un sistema fotovoltaico.

Para el cálculo de la inversión inicial, los primeros dos casos fueron cotizados, por la empresa CIELO VIVO, en la modalidad proyecto "llave en mano", para el caso 3 y 3.1 se utilizan los precios proporcionados por la empresa Sunshine Energía Solar.

- Caso 1: 260 paneles y 15 Inversores SOLAREEDGE SE6000A-US
- Caso 2: 54 paneles y 3 Inversores SOLAREEDGE SE6000A-US
- Caso 3: 27 Paneles y 2 Inversores SOLAREEDGE SE6000A-US
- Caso 3.1: 27 Paneles y 27 Micro-inversores M250 ENPHASE

**Inversión caso #1: Generación de 500 m2 de área de techos.**

Mediante los análisis de cobertura para un área de techos de 500 m2, se requiere de 260 paneles solares para satisfacer dicha área. Para ello, de acuerdo con la cotización realizada por la empresa CIELO VIVO, se hace el siguiente análisis de inversión.

**Tabla 4.18 Inversión inicial caso 1**

Equipo	Cantidad	Costo
➤ Paneles solares	260	\$138.333
➤ Inversores	15	
➤ Instalación	1	
➤ Mantenimiento		\$845
<b>Total</b>	<b>276</b>	<b>\$139.178</b>

Para la inversión del caso #1, como se detalla en la tabla 4.20, el cual corresponde a ciento treinta y nueve mil ciento setenta y ocho dólares. Lo que

es equivalente a (¢ 78.496.392) setenta y ocho millones cuatrocientos noventa y seis mil trescientos noventa y dos colones. Basado en el cambio de dólar (¢ 564 por cada dólar) del Banco de Costa Rica (BCR), al 23 de febrero de 2018.

**Inversión caso # 2: 100% del consumo sistema fotovoltaico.**

Para el consumo del 100% se requieren 54 paneles solares para satisfacer la demanda establecida. Para ello, de acuerdo a la cotización realizada por la empresa CIELO VIVO, se hace el siguiente análisis de inversión.

**Tabla 4.19 Inversión inicial caso 2**

Equipo	Cantidad	Costo
➤ Paneles solares	54	\$27.807
➤ Inversores	3	
➤ Instalación	1	
➤ Mantenimiento	1	\$176
<b>Total</b>	<b>59</b>	<b>\$27.983</b>

Para la inversión del caso #2, como se detalla en la tabla 4.21, corresponde a veinte siete mil novecientos ochenta y tres dólares. Lo que es equivalente a (¢15.782.412) quince millones setecientos ochenta y dos mil cuatrocientos doce colones. Basado en el cambio de dólar (¢564 por cada dólar) del Banco de Costa Rica (BCR), al 23 de febrero de 2018

### **Inversión caso #3: 50 % del consumo sistema fotovoltaico con inversores**

Para el consumo del 50% se requieren un total de 27 paneles solares para satisfacer la demanda establecida. Para ello, de acuerdo con los precios de la revista Sunproducts proporcionados por la empresa Sunshine Energía solar, se hace el siguiente análisis de inversión.

**Tabla 4.20 Inversión inicial caso 3**

Equipo	Cantidad	Costo
Paneles Solares	27	\$ 4374
Inversores Centralizados	2	\$ 4522
<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>\$ 8896</b>

Para la inversión del caso #3, como se detalla en la tabla 4.20, corresponde a \$8.896 (ocho mil ochocientos noventa y seis dólares).

Lo que es equivalente a (¢ 5.079.616) cinco millones setenta y nueve mil seiscientos dieciséis colones. Basado en el cambio de dólar (¢571 por cada dólar) del Banco de Costa Rica (BCR), al 20 de abril de 2018.

### **Inversión caso #3.1 50 % del consumo sistema fotovoltaico con microinversores**

Para el consumo del 50% se requieren 27 paneles solares para satisfacer la demanda establecida, para este caso en especial se pretende utilizar microinversores, Para ello mediante los precios de la revista sunproducts proporcionados por la empresa Sunshine Energía solar se hace el siguiente análisis de inversión.

**Tabla 4.21 Inversión inicial caso 3**

Equipo	Cantidad	Costos
Paneles Solares	27	\$4374
Microinversores	27	\$2835
<b>Total</b>	<b>54</b>	<b>\$7209</b>

Para la inversión del caso #3.1, como se detalla en la tabla 4.21, corresponde a \$7.209 (siete mil doscientos y nueve dólares). Lo que es equivalente a (¢ 4.116.339) cuatro millones ciento dieciséis mil trecientos treinta y nueve colones. Basado en el cambio de dólar (¢571 por cada dólar) del Banco de Costa Rica (BCR), al 20 de abril de 2018.

#### **4.8 Comparación de consumos de la vivienda sin paneles y con paneles solares.**

De acuerdo con el último informe de final de gestión de eficiencia energética de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), cuando se tiene un sistema de paneles solares conectado a la red y se consume más de lo que se genera, se cobrará el excedente por un costo de ¢17,99 colones por cada Kwh, en situaciones en las cuales se consume lo que se produzca, no habrá ninguna violación a las normas establecidas por la CNFL. En los casos en que la carga demandada mensualmente sea menor a la carga generada, el restante de energía será almacenada para el siguiente mes.

Los cálculos de las siguientes tablas están basados en las tarifas regulares de la Autoridad reguladora de los servicios públicos (ARESEP), la cual se detalla la tarifa regular de ¢ 90,11 por cada KWh, con esto el cobro por demanda de acceso a red en sistemas fotovoltaicos conectados a la red es de ¢ 22,69 por cada kwh.

A continuación, se detalla el ahorro producido por cada uno de los casos de consumos anteriormente expuestos.

## Ahorro Caso #1: Generación de 500 m2 de área de techos.

Tabla 4.21 Ahorro caso 1

Descripción	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Energía almacenada (kwh)	0	10.836	21.636,5	35.065,8	48.428,3	60.705
Energía generada (kwh)	12.835,6	12.800,1	15.428,9	15.362,1	14.276,3	11.889,2
Energía consumida (kwh)	1999,6	1999,6	1999,6	1999,6	1999,6	1999,6
Energía sobrante (kwh)	10.836	10.800,5	13.429,3	13.362,5	12.276,7	9889,6
Energía a subir a la red ( kwh)	10.836	10.800,5	13.429,3	13.362,5	12.276,7	9889,6
Energía a bajar de la red ( kwh)	0	0	0	0	0	0
Costo por bajar de la red ¢17,99 x kwh	0	0	0	0	0	0
Cobro por demanda	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371
Facturación vivienda con paneles	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371
Facturación vivienda sin paneles	180.184	180.184	180.184	180.184	180.184	180.184
Descripción	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía almacenada (kwh)	60.705	70.414,6	81.250,6	91.216,2	101.528,3	110.353,2
Energía generada (kwh)	11.709,2	12.835,6	11.965,2	12.311,7	10.824,5	11.604,4
Energía consumida (kwh)	1999,6	1999,6	1999,6	1999,6	1999,6	1999,6
Energía sobrante (kwh)	9709,6	10.836	9965,6	10.312,1	8824,9	9604,8
Energía a subir a la red ( kwh)	9709,6	10.836	9965,6	10.312,1	8824,9	9604,8
Energía a bajar de la red ( kwh)	0	0	0	0	0	0
Costo por bajar de la red ¢17,99	0	0	0	0	0	0
Costo por demanda	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371
Facturación vivienda con paneles	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371
Facturación vivienda sin paneles	180.184	180.184	180.184	180.184	180.184	180.184
<b>Facturación Anual con paneles</b>	<b>¢ 544.452</b>					
<b>Facturación Anual sin paneles</b>	<b>¢ 2.162.208</b>					
<b>Ahorro Anual</b>	<b>¢ 1.617.756</b>					

Como se logra observar en la tabla anterior, para el caso #1, que corresponde a la instalación de 260 paneles solares, el ahorro anual es de (¢1.617.756) un millón seiscientos diecisiete mil setecientos cincuenta y seis colones.

## Ahorro Caso #2: 100% del consumo

Tabla 4.22 Ahorro caso 2

Descripción	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Energía almacenada (kwh)	0	666,3	1325,2	2530,1	3721,1	4686,6
Energía generada (kwh)	2665,9	2658,5	3204,5	3190,6	2965,1	2469,3
Energía consumida (kwh)	1999,6	1999,6	1999,6	1999,6	1999,6	1999,6
Energía sobrante (kwh)	666,3	658,9	1204,9	1191	965,5	469,7
Energía a subir a la red ( kwh)	666,3	658,9	1204,09	1191	965,5	469,7
Energía a bajar de la red ( kwh)	0	0	0	0	0	0
Costo por bajar de la red ¢17,99 x kwh	0	0	0	0	0	0
Cobro por demanda	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371
Facturación vivienda con paneles	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371
Facturación vivienda sin paneles	180.184	180.184	180.184	180.184	180.184	180.184
Descripción	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía almacenada (kwh)	8156,3	8588,6	9254,9	9740,4	10.298	10.546,6
Energía generada (kwh)	2431,9	2665,9	2485,1	2557,1	2248,2	2410,2
Energía consumida (kwh)	1999,6	1999,6	1999,6	1999,6	1999,6	1999,6
Energía sobrante (kwh)	432,3	666,3	485,5	557,5	248,6	410,6
Energía a subir a la red ( kwh)	432,3	666,3	485,5	557,5	248,6	410,6
Energía a bajar de la red ( kwh)		0				
Costo por bajar de la red ¢17,99		0				
Costo por demanda	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371
Facturación vivienda con paneles	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371
Facturación vivienda sin paneles	180.184	180.184	180.184	180.184	180.184	180.184
<b>Facturación Anual con paneles</b>	<b>¢ 544.452</b>					
<b>Facturación Anual sin paneles</b>	<b>¢ 2.162.208</b>					
<b>Ahorro Anual</b>	<b>¢ 1.617.756</b>					

Como se logra observar en la tabla anterior para el caso #2 del 100% del consumo, que corresponde a la instalación de 54 paneles solares, el ahorro anual es de (¢1.617.756) un millón seiscientos diecisiete mil setecientos cincuenta y seis colones.

**Ahorro Caso # 3: 50% del consumo para el caso con inversores y microinversores.**

**Tabla 4.23 Ahorro caso 3**

Descripción	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Energía almacenada (kwh)	0	-666.7	-1337.1	-1734.4	-2138.7	-2665.8
Energía generada (kwh)	1332.9	1329.2	1602.3	1595.3	1482.5	1234.6
Energía consumida (kwh)	1999.6	1999.6	1999.6	1999.6	1999.6	1999.6
Energía sobrante (kwh)	-666.7	-670.4	-397.3	-404.3	-517.1	-765
Energía a subir a la red ( kwh)	0	0	0	0	0	0
Energía a bajar de la red ( kwh)	666.7	670.4	397.3	404.3	517.1	765
Costo por bajar de la red ¢17,99	11.994	12.060	7147.42	7273.35	9302.6	13.762
Cobro por demanda	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371
Facturación vivienda con paneles	57.365	57.431	52.518	52.644	54.674	59.133
Facturación vivienda sin paneles	180.184	180.184	180.184	180.184	180.184	180.184
Descripción	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía almacenada (kwh)	-3480.8	-4219.4	-4886.9	-5643.9	-6365	-7240.5
Energía generada (kwh)	1216	1332.1	1242.6	1278.5	1124.1	1205.1
Energía consumida (kwh)	1999.6	1999.6	1999.6	1999.6	1999.6	1999.6
Energía sobrante (kwh)	-738.6	-667.5	-757	-721.1	-875.5	-794.2
Energía a subir a la red ( kwh)	0	0	0	0	0	0
Energía a bajar de la red ( kwh)	738.6	667.5	757	721.1	875.5	794.2
Costo por bajar de la red ¢17,99	13.287	12.008	13.618	12.973	15.750	14.288
Costo por demanda	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371	45.371
Facturación vivienda con paneles	58.658	57.379	58.989	58.344	61.121	59.659
Facturación vivienda sin paneles	180.184	180.184	180.184	180.184	180.184	180.184
Facturación Anual con paneles( demanda + bajar de la red)	<b>¢ 687.915</b>					
Facturación Anual sin paneles	<b>¢ 2.162.208</b>					
Ahorro Anual	<b>¢ 1.474.293</b>					

Como se logra observar en la tabla anterior para el caso #3 del 50% del consumo, que corresponde a la instalación de 27 paneles solares, el ahorro anual es de (¢1.474.293), un millón cuatrocientos setenta y cuatro mil doscientos noventa y tres colones.

#### 4.9 Cálculo del VAN y TIR

Para el cálculo de la tasa interna de retorno, el cual es un indicador de la rentabilidad de un proyecto, se utiliza para la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión.

Por ende, se utilizará la siguiente fórmula para el cálculo del TIR.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_{Ft}}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0$$

Donde:

$V_{Ft}$ = Flujo de caja

TIR= Tasa interna de retorno

$I_0$ = Inversión Inicial

El cálculo del **Valor Actual Neto** de una inversión o proyecto de inversión es una medida de la rentabilidad absoluta neta que proporciona el proyecto; esto es, mide su momento inicial, el incremento de valor que proporciona a los propietarios en términos absolutos, una vez descontada la inversión inicial que se ha debido efectuar para llevarlo a cabo.

Para el cálculo del valor actual neto (VAN), se utiliza la siguiente fórmula.

$$VAN = -A + \frac{Q1}{(1+k)^1} + \frac{Q2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Qn}{(1+k)^n}$$

Donde.

A= Inversión inicial

Q= Flujo de efectivo por periodo

K= Rendimiento mínimo aceptable

De acuerdo a la cotización realizada por la empresa CIELO VIVO, (ver anexo 2) para el cálculo del valor neto actual se utilizará una tasa de descuento del 6% del BAC SOLAR, a un plazo de 20 años, también se contempla un VAN para 25 años, considerando sus garantías. Además, se entrevistó a una empresa encargada de diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos, la cual estimó un aumento anual de la tarifa eléctrica del 6%.

## Caso # 1; Generación fotovoltaica de un área de 500 m2 de techo

### Tabla 4.24 Análisis de recuperación de inversión caso 1

Año	Flujo sin paneles	Flujo con paneles	Ahorro Anual	Diferencia Flujos	Valor Presente	Valor Acum.
0	¢ 0	¢ 0	¢ 0	¢ -78.496.392	¢ -78.496.392	¢ -78.496.392
1	¢ 2.162.208	¢ 544.452	¢ 1.617.756	¢ 1.617.756	¢ 1.526.185	¢ -76.970.207
2	¢ 2.291.940	¢ 544.452	¢ 1.747.488	¢ 1.747.488	¢ 1.555.258	¢ -75.414.950
3	¢ 2.429.456	¢ 544.452	¢ 1.885.004	¢ 1.885.004	¢ 1.582.686	¢ -73.832.265
4	¢ 2.575.223	¢ 544.452	¢ 2.030.771	¢ 2.030.771	¢ 1.608.561	¢ -72.223.704
5	¢ 2.729.736	¢ 544.452	¢ 2.185.284	¢ 2.185.284	¢ 1.632.971	¢ -70.590.733
6	¢ 2.893.520	¢ 544.452	¢ 2.349.068	¢ 2.349.068	¢ 1.656.000	¢ -70.450.718
7	¢ 3.067.131	¢ 544.452	¢ 2.522.679	¢ 2.522.679	¢ 1.677.725	¢ -68.772.992
8	¢ 3.251.159	¢ 544.452	¢ 2.706.707	¢ 2.706.707	¢ 1.698.221	¢ -67.074.771
9	¢ 3.446.228	¢ 544.452	¢ 2.901.776	¢ 2.901.776	¢ 1.717.557	¢ -65.357.214
10	¢ 3.653.002	¢ 544.452	¢ 3.108.550	¢ 3.108.550	¢ 1.735.798	¢ -63.621.416
11	¢ 3.872.182	¢ 544.452	¢ 3.327.730	¢ 3.327.730	¢ 1.753.006	¢ -61.868.409
12	¢ 4.104.513	¢ 544.452	¢ 3.560.061	¢ 3.560.061	¢ 1.769.241	¢ -61.855.761
13	¢ 4.350.814	¢ 544.452	¢ 3.806.362	¢ 3.806.362	¢ 1.784.571	¢ -60.071.190
14	¢ 4.611.863	¢ 544.452	¢ 4.067.411	¢ 4.067.411	¢ 1.799.020	¢ -58.272.170
15	¢ 4.888.548	¢ 544.452	¢ 4.344.096	¢ 4.344.096	¢ 1.812.639	¢ -56.459.530
16	¢ 5.181.861	¢ 544.452	¢ 4.637.409	¢ 4.637.409	¢ 1.825.499	¢ -54.634.031
17	¢ 5.492.773	¢ 544.452	¢ 4.948.321	¢ 4.948.321	¢ 1,837.630	¢ -52.796.400
18	¢ 5.822.340	¢ 544.452	¢ 5.277.888	¢ 5.277.888	¢ 1,849.075	¢ -50.947.325
19	¢ 6.171.680	¢ 544.452	¢ 5.627.228	¢ 5.627.228	¢ 1.859.872	¢ -49.087.453
20	¢ 6.541.981	¢ 544.452	¢ 6.997.529	¢ 6.997.529	¢ 2.181.863	¢ -46.905.590
21	¢ 6.934.450	¢ 544.452	¢ 6.389.998	¢ 6.389.998	¢ 1.879.652	¢ -45.025.938
22	¢ 7.350.517	¢ 544.452	¢ 6.806.065	¢ 6.806.065	¢ 1.888.718	¢ -43.137.220
23	¢ 7.791.548	¢ 544.452	¢ 7.247.096	¢ 7.247.096	¢ 1.897.270	¢ -41.239.950
24	¢ 8.259.041	¢ 544.452	¢ 7.714.589	¢ 7.714.589	¢ 1.905.338	¢ -39.334.612
25	¢ 8.754.583	¢ 544.452	¢ 8.210.131	¢ 8.210.131	¢ 1.912.950	¢ -37.421.663

Para el cálculo del VAN se utilizó una tasa de descuento del 6%, como se explicó anteriormente.

Además, como se muestra en la tabla 4.24, la inversión no se llegaría a recuperar en este plazo de 25 años, por lo tanto, el Valor Actual Neto del proyecto es de  $\text{¢}-37.421.663$ , para el cálculo del TIR debido a la gran escala de tiempo de la matemática financiera, se utilizó la herramienta Microsoft Excel, para así disminuir el porcentaje de error y por ende ser más precisos.

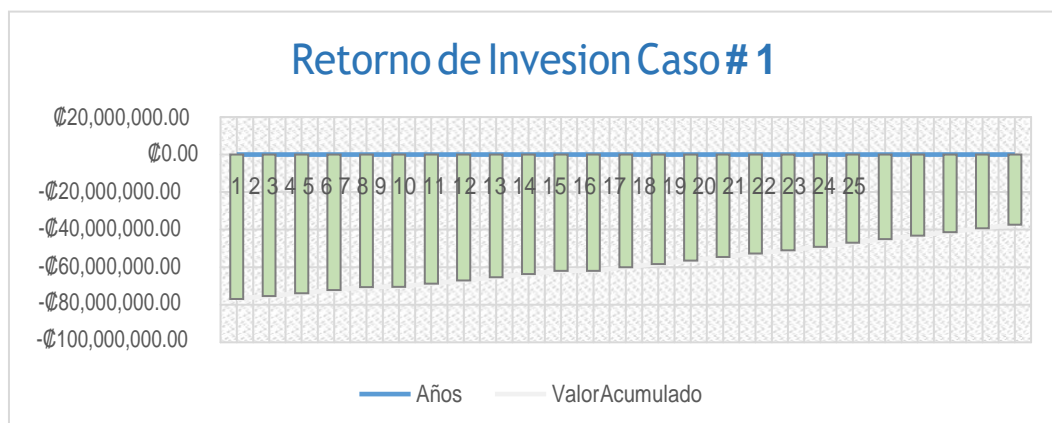
El valor del TIR es del 2%, siendo esta tasa inferior a la tasa de descuento, la cual se analizará a fondo en el análisis de resultados.

Para el caso #1, el cual equivale a la generación de 500 m<sup>2</sup> de área de techos para un sistema fotovoltaico, se requiere instalar la cantidad de 260 paneles solares para satisfacer dicha área, mediante el análisis financiero anteriormente expuesto se detallan los siguientes datos del valor actual neto y de la tasa interna de retorno.

VAN=  $\text{¢}-37.421.663$

TIR= 2%

**Figura 4.18 Retorno de inversión caso 1**



Fuente: Propia

## Caso #2: 100% del consumo

Tabla 4.25 Análisis de recuperación de inversión caso 2

Año	Flujo sin paneles	Flujo con paneles	Ahorro Anual	Diferencia Flujos	Valor Presente	Valor Acum.
0	¢ 0	¢ 0	¢ 0	¢ -15.782.412	¢ -15.782.412	¢ -15.782.412
1	¢ 2.162.208	¢ 544.452	¢ 1.617.756	¢ 1.617.756	¢ 1.526.185	¢ -14.256.227
2	¢ 2.291.940	¢ 544.452	¢ 1.747.488	¢ 1.747.488	¢ 1.555.258	¢ -12.700.969
3	¢ 2.429.456	¢ 544.452	¢ 1.885.004	¢ 1.885.004	¢ 1.582.686	¢ -11.118.283
4	¢ 2.575.223	¢ 544.452	¢ 2.030.771	¢ 2.030.771	¢ 1.608.561	¢ -9.509.722
5	¢ 2.729.736	¢ 544.452	¢ 2.185.284	¢ 2.185.284	¢ 1.632.971	¢ -7.876.751
6	¢ 2.893.520	¢ 544.452	¢ 2.349.068	¢ 2.349.068	¢ 1.656.000	¢ -6.220.751
7	¢ 3.067.131	¢ 544.452	¢ 2.522.679	¢ 2.522.679	¢ 1.677.725	¢ -4.543.025
8	¢ 3.251.159	¢ 544.452	¢ 2.706.707	¢ 2.706.707	¢ 1.698.221	¢ -2.844.804
9	¢ 3.446.228	¢ 544.452	¢ 2.901.776	¢ 2.901.776	¢ 1.717.557	¢ -1.127.247
10	¢ 3.653.002	¢ 544.452	¢ 3.108.550	¢ 3.108.550	¢ 1.735.798	¢ 608.551
11	¢ 3.872.182	¢ 544.452	¢ 3.327.730	¢ 3.327.730	¢ 1.753.006	¢ 2.361.558
12	¢ 4.104.513	¢ 544.452	¢ 3.560.061	¢ 3.560.061	¢ 1.769.241	¢ 4.130.799
13	¢ 4.350.814	¢ 544.452	¢ 3.806.362	¢ 3.806.362	¢ 1.784.571	¢ 5.915.370
14	¢ 4.611.863	¢ 544.452	¢ 4.067.411	¢ 4.067.411	¢ 1,799,020	¢ 7,714,390
15	¢ 4.888.548	¢ 544.452	¢ 4.344.096	¢ 4.344.096	¢ 1.812.639	¢ 9.527.029
16	¢ 5.181.861	¢ 544.452	¢ 4.637.409	¢ 4.637.409	¢ 1.825.499	¢ 11.352.528
17	¢ 5.492.773	¢ 544.452	¢ 4.948.321	¢ 4.948.321	¢ 1.837.630	¢ 13.190.158
18	¢ 5.822.340	¢ 544.452	¢ 5.277.888	¢ 5.277.888	¢ 1.849.075	¢ 15.039.233
19	¢ 6.171.680	¢ 544.452	¢ 5.627.228	¢ 5.627.228	¢ 1.859.872	¢ 16.899.105
20	¢ 6.541.981	¢ 544.452	¢ 6.997.529	¢ 6.997.529	¢ 2.181.863	¢ 19.080.968
21	¢ 6.934.450	¢ 544.452	¢ 6.389.998	¢ 6.389.998	¢ 1,879,652	¢ 20.960.620
22	¢ 7.350.517	¢ 544.452	¢ 6.806.065	¢ 6.806.065	¢ 1.888.718	¢ 22.849.338
23	¢ 7.791.548	¢ 544.452	¢ 7.247.096	¢ 7.247.096	¢ 1.897.270	¢ 24.746.608
24	¢ 8.259.041	¢ 544.452	¢ 7.714.589	¢ 7.714.589	¢ 1.905.338	¢ 26.651.946
25	¢ 8.754.583	¢ 544.452	¢ 8.210.131	¢ 8.210.131	¢ 1.912.950	¢ 28.564.895

Para el cálculo del VAN se utilizó una tasa de descuento del 6%, como se explicó anteriormente.

Además, como se muestra en la tabla 4.25 la inversión se recuperaría en el año 10 y el Valor Actual Neto del proyecto es de ¢ 28.564.895; para el cálculo del TIR, debido a la gran escala de tiempo de la matemática financiera, se utilizó la herramienta Microsoft Excel, para así disminuir el porcentaje de error y por ende ser más precisos.

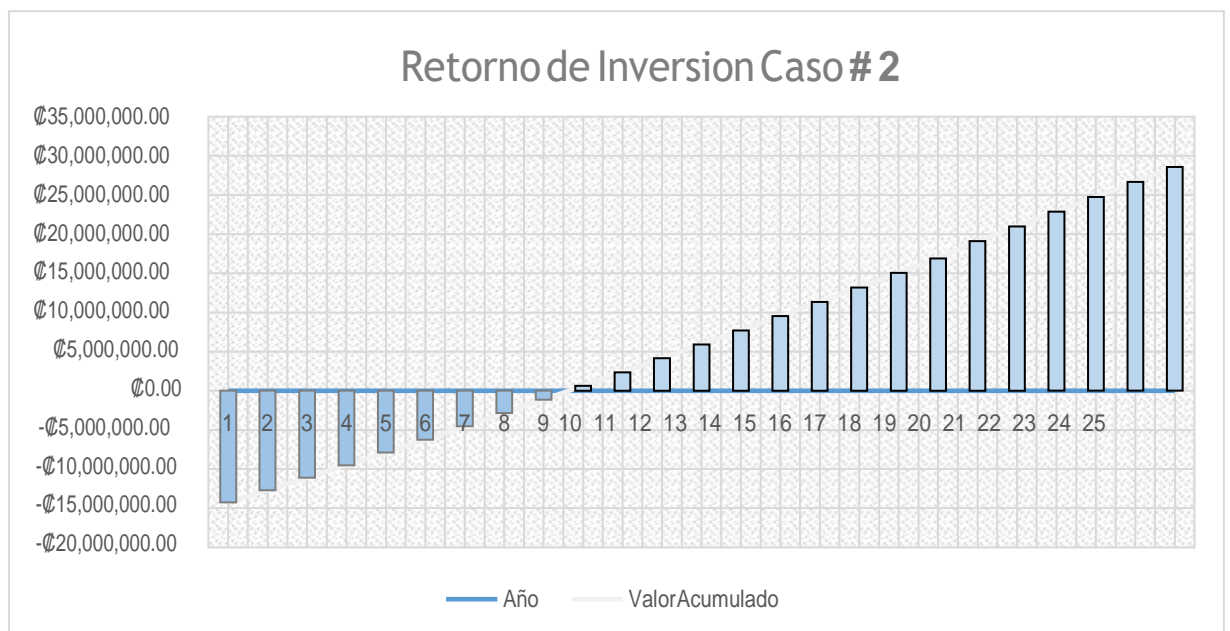
El valor del TIR es del 16%, siendo esta tasa superior a la tasa de descuento, la cual se analizará a fondo en el análisis de resultados.

Para el caso #2, el cual equivale al 100% del consumo del sistema fotovoltaico, se requiere instalar la cantidad de 54 paneles solares para satisfacer dicha demanda, mediante el análisis financiero anteriormente expuesto se detallan los siguientes datos del valor actual neto y de la tasa interna de retorno.

VAN= ¢ 28,564,895

TIR= 16%

**Figura 4.19 Retorno de inversión caso 2**



Fuente: propia

### Caso #3: 50% del consumo con inversores centralizados

Tabla 4.26 Análisis de recuperación de inversión caso # 3

Año	Flujo sin paneles	Flujo con paneles	Ahorro Anual	Diferencia Flujos	Valor Presente	Valor Acum.
0	¢ 0	¢ 0	¢ 0	¢ -5.079.616	¢ -5.079.616	¢ -5.079.616
1	¢ 2.162.208	¢ 687.915	¢ 1.474.293	¢ 1.474.293	¢ 1.390.842	¢ -3.688.774
2	¢ 2.291.940	¢ 687.915	¢ 1.604.025	¢ 1.604.025	¢ 1.427.577	¢ -2.261.197
3	¢ 2.429.456	¢ 687.915	¢ 1.741.541	¢ 1.741.541	¢ 1.462.231	¢ -798.966
4	¢ 2.575.223	¢ 687.915	¢ 1.887.308	¢ 1.887.308	¢ 1.494.925	¢ 695.959
5	¢ 2.729.736	¢ 687.915	¢ 2.041.821	¢ 2.041.821	¢ 1.525.767	¢ 2.221.726
6	¢ 2.893.520	¢ 687.915	¢ 2.205.605	¢ 2.205.605	¢ 1.554.864	¢ 3.776.590
7	¢ 3.067.131	¢ 687.915	¢ 2.379.216	¢ 2.379.216	¢ 1.582.314	¢ 5.358.904
8	¢ 3.251.159	¢ 687.915	¢ 2.563.244	¢ 2.563.244	¢ 1.608.211	¢ 6.967.115
9	¢ 3.446.228	¢ 687.915	¢ 2.758.313	¢ 2.758.313	¢ 1.632.641	¢ 8.599.756
10	¢ 3.653.002	¢ 687.915	¢ 2.965.087	¢ 2.965.087	¢ 1.655.689	¢ 10.255.445
11	¢ 3.872.182	¢ 687.915	¢ 3.184.267	¢ 3.184.267	¢ 1.677.432	¢ 11.932.877
12	¢ 4.104.513	¢ 687.915	¢ 3.416.598	¢ 3.416.598	¢ 1.697.944	¢ 13.630.822
13	¢ 4.350.814	¢ 687.915	¢ 3.662.899	¢ 3.662.899	¢ 1.717.309	¢ 15.348.132
14	¢ 4.611.863	¢ 687.915	¢ 3.923.948	¢ 3.923.948	¢ 1.735.566	¢ 17.083.697
15	¢ 4.888.548	¢ 687.915	¢ 4.200.633	¢ 4.200.633	¢ 1.752.777	¢ 18.836.487
16	¢ 5.181.861	¢ 687.915	¢ 4.493.946	¢ 4.493.946	¢ 1.769.025	¢ 20.605.512
17	¢ 5.492.773	¢ 687.915	¢ 4.804.858	¢ 4.804.858	¢ 1.784.353	¢ 22.389.865
18	¢ 5.822.340	¢ 687.915	¢ 5.134.425	¢ 5.134.425	¢ 1.798.813	¢ 24.188.679
19	¢ 6.171.680	¢ 687.915	¢ 5.483.765	¢ 5.483.765	¢ 1.812.456	¢ 26.001.134
20	¢ 6.541.981	¢ 687.915	¢ 5.854.066	¢ 5.854.066	¢ 1.825.325	¢ 27.826.459
21	¢ 6.934.450	¢ 687.915	¢ 6.246.535	¢ 6.246.535	¢ 1.837.452	¢ 29.663.911
22	¢ 7.350.517	¢ 687.915	¢ 6.662.602	¢ 6.662.602	¢ 1.848.906	¢ 31.512.817
23	¢ 7.791.548	¢ 687.915	¢ 7.103.633	¢ 7.103.633	¢ 1.859.712	¢ 33.372.528
24	¢ 8.259.041	¢ 687.915	¢ 7.571.126	¢ 7.571.126	¢ 1.869.906	¢ 35.242.434
25	¢ 8.754.583	¢ 687.915	¢ 8.066.668	¢ 8.066.668	¢ 1.879.523	¢ 37.121.957

Para el cálculo del VAN se utilizó una tasa de descuento del 6%, como se explicó anteriormente.

Además, como se muestra en la tabla 4.26, la inversión se recuperaría en el año 4 y el Valor Actual Neto del proyecto es de ¢ 37.121.957; para el cálculo del TIR, debido a la gran escala de tiempo de la matemática financiera, se utilizó la herramienta Microsoft Excel, para así disminuir el porcentaje de error y por ende ser más precisos.

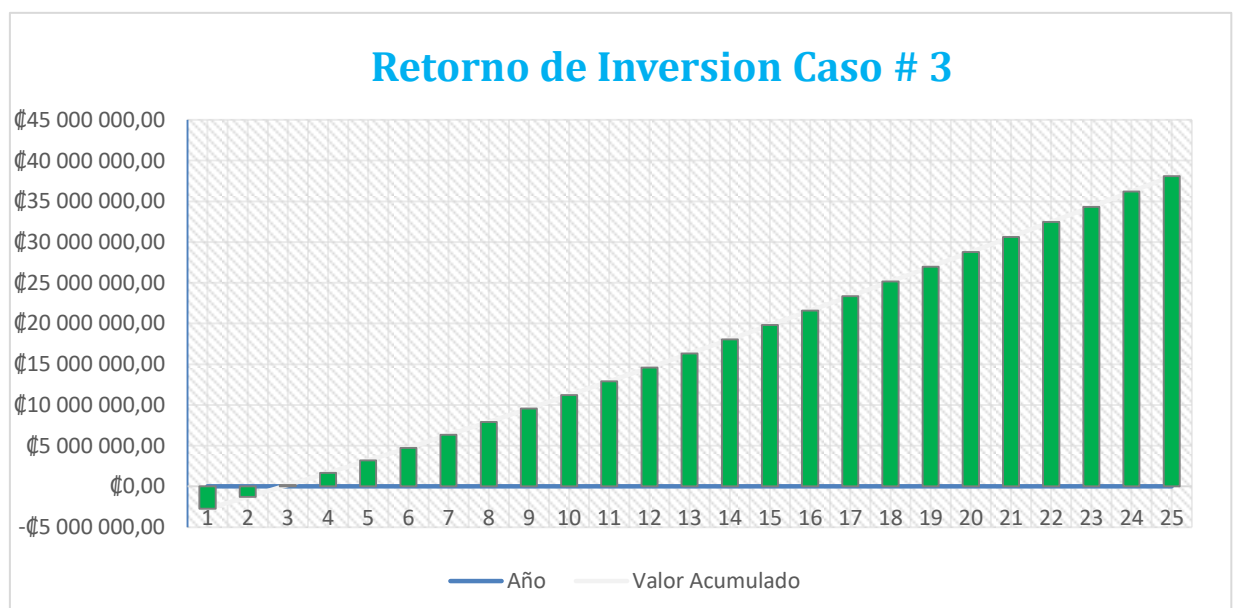
El valor del TIR es del 37%, siendo esta tasa superior a la tasa de descuento, la cual se analizará a fondo en el análisis de resultados.

Para el caso #3 con inversores, el cual equivale al 50% del consumo del sistema fotovoltaico, se requiere instalar la cantidad de 27 paneles solares para satisfacer dicha demanda, mediante el análisis financiero anteriormente expuesto se detallan los siguientes datos del valor actual neto y de la tasa interna de retorno.

VAN= ¢ 37.121.957

TIR= 37%

**Figura 4.20. Retorno de inversión caso 3 con inversores centralizados**



Fuente: propia

### Caso #3.1: 50% del consumo con microinversores

Tabla 4.27 Análisis de recuperación de inversión caso 3.1

Año	Flujo sin paneles	Flujo con paneles	Ahorro Anual	Diferencia Flujos	Valor Presente	Valor Acum.
0	¢ 0	¢ 0	¢ 0	¢ -4.116.339	¢ -4.116.339	¢ -4.116.339
1	¢ 2.162.208	¢ 687.915	¢ 1.474.293	¢ 1.474.293	¢ 1.390.842	¢ -2.725.496
2	¢ 2.291.940	¢ 687.915	¢ 1.604.025	¢ 1.604.025	¢ 1.427.577	¢ -1.297.919
3	¢ 2.429.456	¢ 687.915	¢ 1.741.541	¢ 1.741.541	¢ 1.462.231	¢ 164.312
4	¢ 2.575.223	¢ 687.915	¢ 1.887.308	¢ 1.887.308	¢ 1.494.925	¢ 1.659.237
5	¢ 2.729.736	¢ 687.915	¢ 2.041.821	¢ 2.041.821	¢ 1.525.767	¢ 3.185.004
6	¢ 2.893.520	¢ 687.915	¢ 2.205.605	¢ 2.205.605	¢ 1.554.864	¢ 4.739.868
7	¢ 3.067.131	¢ 687.915	¢ 2.379.216	¢ 2.379.216	¢ 1.582.314	¢ 6.322.182
8	¢ 3.251.159	¢ 687.915	¢ 2.563.244	¢ 2.563.244	¢ 1.608.211	¢ 7.930.392
9	¢ 3.446.228	¢ 687.915	¢ 2.758.313	¢ 2.758.313	¢ 1.632.641	¢ 9.563.033
10	¢ 3.653.002	¢ 687.915	¢ 2.965.087	¢ 2.965.087	¢ 1.655.689	¢11.218.722
11	¢ 3.872.182	¢ 687.915	¢ 3.184.267	¢ 3.184.267	¢ 1.677.432	¢12.896.154
12	¢ 4.104.513	¢ 687.915	¢ 3.416.598	¢ 3.416.598	¢ 1.697.944	¢14.594.098
13	¢ 4.350.814	¢ 687.915	¢ 3.662.899	¢ 3.662.899	¢ 1.717.309	¢16.311.408
14	¢ 4.611.863	¢ 687.915	¢ 3.923.948	¢ 3.923.948	¢ 1.735.566	¢ 18.046.974
15	¢ 4.888.548	¢ 687.915	¢ 4.200.633	¢ 4.200.633	¢ 1.752.777	¢19.799.751
16	¢ 5.181.861	¢ 687.915	¢ 4.493.946	¢ 4.493.946	¢ 1.769.025	¢ 21.568.776
17	¢ 5.492.773	¢ 687.915	¢ 4.804.858	¢ 4.804.858	¢ 1.784.353	¢ 23.353.129
18	¢ 5.822.340	¢ 687.915	¢ 5.134.425	¢ 5.134.425	¢ 1.798.813	¢ 25.151.943
19	¢ 6.171.680	¢ 687.915	¢ 5.483.765	¢ 5.483.765	¢ 1.812.456	¢ 26.964.399
20	¢ 6.541.981	¢ 687.915	¢ 5.854.066	¢ 5.854.066	¢ 1.825.325	¢ 28.789.724
21	¢ 6.934.450	¢ 687.915	¢ 6.246.535	¢ 6.246.535	¢ 1.837.452	¢ 30.627.176
22	¢ 7.350.517	¢ 687.915	¢ 6.662.602	¢ 6.662.602	¢ 1.848.906	¢ 32.476.082
23	¢ 7.791.548	¢ 687.915	¢ 7.103.633	¢ 7.103.633	¢ 1.859.712	¢ 34.335.794
24	¢ 8.259.041	¢ 687.915	¢ 7.571.126	¢ 7.571.126	¢ 1.869.906	¢ 36.205.700
25	¢ 8.754.583	¢ 687.915	¢ 8.066.668	¢ 8.066.668	¢ 1.879.523	¢ 38.085.222

Para el cálculo del VAN se utilizó una tasa de descuento del 6%, como se ha utilizado en las anteriores estimaciones.

Se muestra en la tabla 4.27, la inversión se recuperaría en el año 3 y el Valor Actual Neto del proyecto es de ¢ 38.085.222; para el cálculo del TIR, debido a la gran escala de tiempo de la matemática financiera, se utilizó la herramienta Microsoft Excel, para así disminuir el porcentaje de error y por ende ser más precisos.

El valor del TIR es del 44%, siendo esta tasa superior a la tasa de descuento, la cual se analizará a fondo en el análisis de resultados.

Para el caso #3.1 Con microinversores, el cual equivale al 50% del consumo del sistema fotovoltaico, se requiere instalar la cantidad de 27 paneles solares para satisfacer dicha demanda, mediante el análisis financiero anteriormente expuesto se detallan los siguientes datos del valor actual neto y de la tasa interna de retorno.

VAN= ¢ 38.085.222

TIR= 44%

**Figura 4.20. Retorno de inversión caso 3.1 Con microinversores**



Fuente: propia

## **4.10 Cálculos Sistema Mecánico**

### **4.10.1 Cálculo de tuberías de desagüe**

En el artículo 9.3-1 del código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones 2017 del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), se recomienda utilizar la fórmula detallada en el capítulo 2, página 58, para la determinación de los caudales de diseño de un sistema de desagüe de aguas pluviales.

De la figura 2.21, capítulo 2, página 61, se extrae el valor de la intensidad de lluvia en mm/hr, para un periodo de retorno de 10 años; para el cual el inciso “a”, capítulo 2, página 59, del periodo de recuperación, el código recomienda utilizar un periodo de recuperación de 10 años y una duración de 30 minutos como mínimo, por lo tanto, para la región climatológica, en este caso el “Valle Central”, la intensidad de lluvia es equivalente a 140 mm/hr.

De la figura 2.19, capítulo 2, página 59, se determina el coeficiente de escorrentía el cual es adimensional, de acuerdo con el área donde se encuentra la vivienda, el tipo de área correspondiente es “Residencial multifamiliar espaciada”, dicho coeficiente se encuentra entre los rangos de 0,40-0,60. Por ende por criterio propio para efectos de cálculo, se utilizará 0,50 como coeficiente de escorrentía.

Para el área de drenaje tributaria se utilizará el área de techos de la vivienda el cual es de 517,26 m<sup>2</sup>, finalmente se calculará el caudal de diseño con los parámetros anteriormente calculados mediante tablas

$$Q = \frac{0,50 \times 140 \frac{\text{mm}}{\text{hr}} \times 517,26 \text{m}^2}{3600}$$

$$Q = 10,05 \text{L/s}$$

Mediante el valor del caudal en L/s, se debe calcular el diámetro del bajante de desagüe para agua de lluvia; por ende, en la figura 2.23 del capítulo 2, página 62, se asocia el valor del caudal con el diámetro respectivo; para este caso se elige un diámetro de 150mm para los bajantes de desagüe.

#### 4.10.2 Cálculos del tanque de almacenamiento

En el artículo 9.4-5 del código de instalaciones hidráulicas y sanitarias 2017 del CFIA, donde se debe calcular el volumen del tanque de almacenamiento para un evento con un periodo de retorno de 10 años y una duración de 30 minutos, la fórmula por utilizar se encuentra en el capítulo 2, página 63.

El caudal máximo para un periodo de 10 años y una duración de 30 minutos, el cual se encuentra calculado en la sección anterior, esto para efectos del volumen del tanque se debe hacer una conversión de 10,05 L/s a m<sup>3</sup>/s, lo que es igual a 0,0105 m<sup>3</sup>/s.

Por lo tanto;

$$Vt = 1200 \times 0.0105 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$VT = 12.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 4.10.3 Cálculo de la Bomba del Sistema Mecánico

En los artículos 9.4-7 y 9.4-8 (capítulo 2, página 64 del marco teórico) del código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones 2017 del CFIA, donde se menciona el diseño del sistema de bombeo, se establece que el caudal de diseño sea al menos  $2/3 \cdot Q$  (10,30), donde  $Q$  (10,30) es el caudal máximo producto de un aguacero con un periodo de retorno de 10 años y una duración de 30 minutos.

Se diseñará bajo los requerimientos del artículo 7.9-7 del código (capítulo 2, páginas 64-65 marco teórico)

#### **Datos:**

Caudal de diseño:  $2/3 \cdot 0,0105 \text{ m}^3/\text{s} = 0,007 \text{ m}^3/\text{s} = 7 \text{ L/s}$

Velocidad de succión: 1,5 m/s

Velocidad de Impulsión: 2,4 m/s

- 1) Para el Cálculo del área de sección transversal de la tubería de succión e impulsión se requiere utilizar el caudal de diseño y las velocidades respectivas, mediante la ecuación 2.6.2 del capítulo 2, página 67 del marco teórico; haciendo el respectivo despeje se tiene lo siguiente:

$$AS = \frac{Q}{VS} = \frac{0.007 \text{ m}^3/\text{s}}{1.5 \text{ m}^3/\text{s}} = 0.0046 \text{ m}^2$$

$$AS = \frac{Q}{V} = \frac{0.007 \text{ m}^3/\text{s}}{1.5 \text{ m}^3/\text{s}} = 0.0046 \text{ m}^2$$

- 2) Para efectos del diámetro respectivo de succión e impulsión, se utilizará la fórmula 2.6.1, capítulo 2, página 66 del marco teórico; haciendo el respectivo despeje se tiene lo siguiente:

$$\phi_s = \frac{\sqrt{4 \times 0.0046 \text{ m}^2}}{\pi} = 76.5 \text{ mm}$$

$$\phi_i = \frac{\sqrt{4 \times 0.0029 \text{ m}^2}}{\pi} = 67 \text{ mm}$$

Mediante el cálculo anterior se nota que el diámetro de succión es de 76,5 mm, en el artículo 7.9-7 (capítulo 2, páginas 64-65 del marco teórico) del código de instalaciones hidráulicas y sanitarias del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), menciona que "En ningún caso el diámetro de tubería de succión debe ser inferior a 100mm", por lo tanto, partiendo de este hecho el diámetro de succión del sistema de bombeo será de 100mm.

- 3) Para el cálculo de la altura dinámica total de succión, se hace uso de los caudales y diámetros calculados anteriormente, también hace referencia al coeficiente de Hazen Williams (adimensional), el cual se extrae de la figura 2.26, capítulo 2, página 68 del marco teórico; en este caso, el material por utilizar es PVC y su coeficiente correspondiente es de 140.

$$Q = 0,2785 \times C \times \phi^{2,63} \times J^{0,54} =$$

$$JS = 0,0316 \text{ m/m}$$

$$J_i = 0,0976 \text{ m/m}$$

- 4) Para el cálculo de la pérdida total de succión, se estima una longitud de tubo de succión, en el peor de los casos, de 7 metros, como también una serie de accesorios: 1 válvula de retención, 1 codo de 90 grados, estas pérdidas en accesorios se extraen de la figura 2.25 capítulo 2, página 69, “Longitud de equivalencias de perdidas”, del marco teórico.

En la figura 2.25 de acuerdo al diámetro de succión de 3 pulgadas se tiene lo siguiente;

1 válvula de retención= 6,3 m

1 codo de 90 grados radio corto= 2,5 m

Longitud del tubo de succión= 5m

Total de perdidas=13,8 m

- 4.1) Cálculo de Perdidas por fricción en la succión por medio de la ecuación 2.6.5 capítulo 2, página 70 del marco teórico, se tiene que;

$$K_s = \frac{1,5 \text{ m/s}^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,114 \text{ m}$$

$$K_i = \frac{2,4 \text{ m/s}^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,293 \text{ m}$$

- 5) Para el cálculo de la altura dinámica en la succión se debe utilizar la fórmula 2.6.6 del capítulo 2, página 70 del marco teórico.

$$H_{ds} = 2\text{ m} + \left( \frac{0,0316\text{ m}}{\text{m}} \times 13,8\text{ m} \right) + 0,114\text{ m} = 2,55\text{ m}$$

6) Pérdida total en la impulsión por medio de accesorios, valores de pérdida equivalente en metros en la figura 2.25, bajo referencias del diámetro de impulsión de 63,5 mm (2 ½ “)

7) Accesorios:

1 válvula de compuerta= 5,6 m

1 válvula de retención = 6,3 m

Longitud recta de tubería= 10 m

Total, de pérdidas= 21,9 m

8) Cálculo de ecuación 2.6.6 utilizada en el punto 5, se tiene que:

$$H_{di} = 2\text{ m} + \left( \frac{0,0976\text{ m}}{\text{m}} \times 21,9\text{ m} \right) + 0,293\text{ m} = 4,43\text{ m}$$

9) Por lo tanto, para el cálculo de la altura dinámica del sistema, el cual es la suma de las alturas de succión e impulsión, se utilizará la fórmula 2.6.7 del capítulo 2, página 71 del marco teórico, para su debida determinación.

$$H_{dt} = 2,55\text{ m} + 4,43\text{ m} = 6,98\text{ m}$$

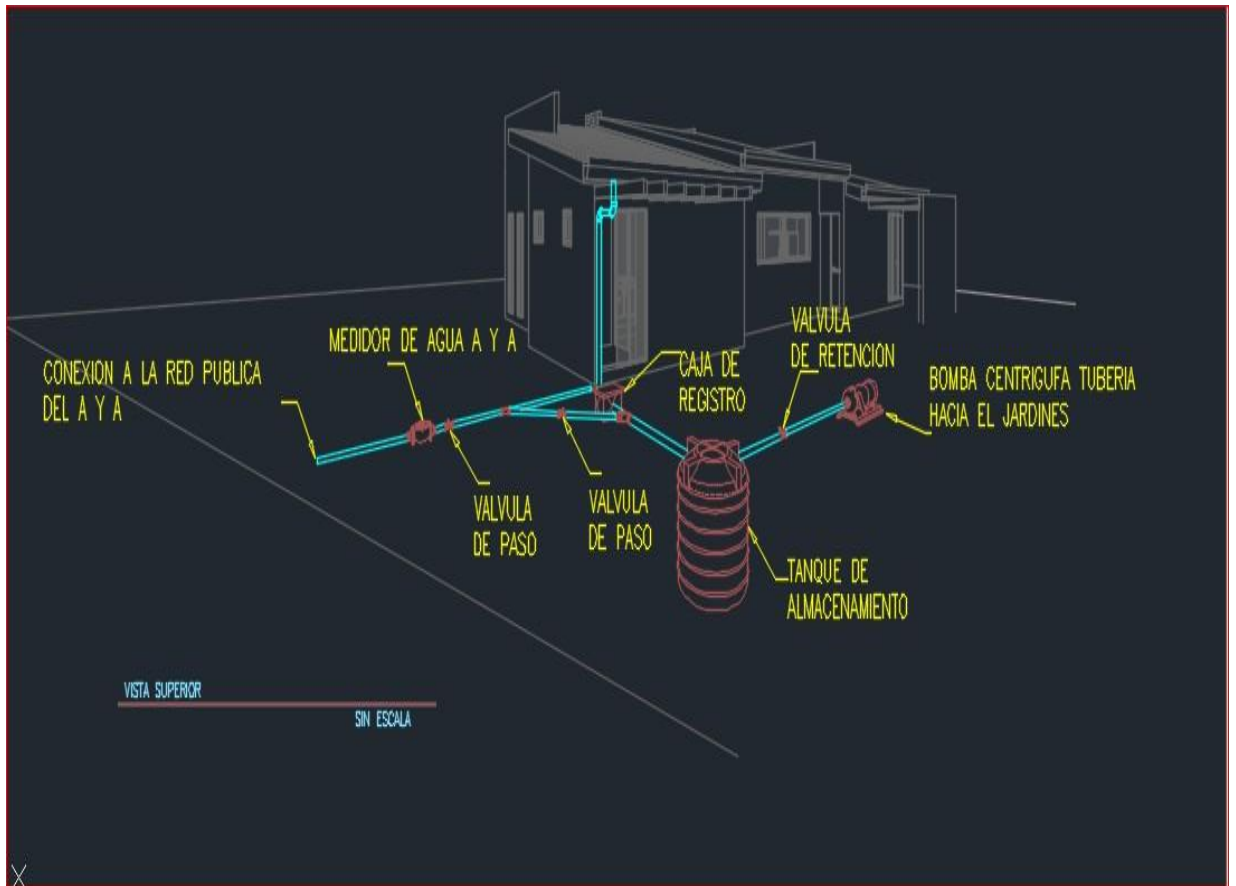
De acuerdo con los datos calculados anteriormente, mediante el análisis para un sistema de riego para jardines realizado por la empresa DURMAN ESQUIVEL S.A., se requieren los siguientes componentes:

**Tabla 4.27 Resumen de componentes Sistema mecánico**

<b>COMPONENTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
Bomba J115 1HP	1	15 GPM a 50 PSI
Aspersor Rotor	6	5" T5PCK-RS
Codo 12 mm	6	SBE 050
Codo 18 mm	6	SBE 075
Manguera Flex	3 Metros	SP-100
TE C/R	4	PVC 12mm (1/2")
Codo C/R	2	PVC 25mm(1")
Tubo PVC	8	12mm(1/2")X6M13
Tubo PVC	6	25mm(1")X6M26
Controlador	1	Panel solar DIG-MOD
Válvula York	1	25mm( 1")
Válvula de Pie York	1	25mm(1")
Adaptador Macho	7	PVC 25mm(1") BL
Tanque de Almac.	1	10000 L
Tubería Bajante	30	PVC 150mm
Boquilla Bajante	30	PVC 75mm
Codos de 45°	60	PVC 150mm
Gazas Bajante	60	PVC 75mm
Esquineros	16	PVC 75mm
Canoa (6m)	28	PVC

Fuente: Propia

**Figura 4 21. Representación gráfica del sistema mecánico**



**Fuente: propia de CAD, sin escala**

Como se detalla en la figura representativa del sistema mecánico propuesto anteriormente, en temporada de invierno o de lluvia, el tanque de almacenamiento se llenará por medio de la tubería bajante como se representa en la figura, la caja de registro es el centro de almacenamiento provenientes de las tuberías bajantes ubicadas a 6 m una de la otra, ahora bien cuando se está en temporada de verano y no haya precipitaciones de lluvia en la zona donde se instalará este sistema, el mismo entrará a funcionar mediante el suministro de agua de A Y A (Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados), para ello se ubica una válvula de paso la cual en temporada de invierno permanecerá

cerrada, mientras en verano se encuentra abierta para el respectivo llegado del tanque.

Seguidamente se encuentra la bomba centrífuga que se encargará de dar suministro al área de riego.

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## **4.11 Análisis de Resultados**

### **4.11.1 Diseño Eléctrico Mediante el Código Eléctrico Nacional (NEC 2008)**

Para el diseño eléctrico de la unidad de vivienda ubicada en Santa Ana, San José, se hizo uso del código eléctrico nacional NEC 2008 para los respectivos cálculos con algunas excepciones, como por ejemplo para el cálculo de la iluminación se utilizó el método lúmenes, el cual se explica en detalle en el capítulo 2, página 43; este a su vez hace uso de la norma de INTECO “Niveles de condiciones de iluminación”, para cada tipo de edificio se tiene una cantidad de “lux”, como valor mínimo de servicio de iluminación.

Posteriormente para el cálculo de tomas generales, por criterio propio se decide instalar 60 tomas para cada planta (baja, alta), estos se calculan mediante el artículo 220.14 (L) del NEC 2008, donde se especifica que se deben calcular a 180 Va por cada salida, como se calcula en la sección 4.1.1.1, del desarrollo.

Para los demás cálculos de los circuitos respectivos, como lo son los electrodomésticos, baños, lavandería, etc., se utilizó el código eléctrico nacional NEC 2008 con sus respectivos artículos para cada uno de estos circuitos ramales anteriormente mencionados, en el artículo 220.42 NEC 2008, el cual hace referencia al factor de demanda para cargas de alumbrado, dando como resultado 12564 VA, como se especifica en la sección 4.1.1.5, del desarrollo.

En términos generales la unidad de vivienda tiene una carga demandada de 54,51 KVA Va y una carga del neutro de 47,72 KVA Va, siendo este un sistema monofásico trifilar 120/240, en el cual la corriente demanda es de 227,69 A, por lo que existirán dos conductores de fase y uno de neutro, esto de acuerdo al

NEC 2008 en la tabla 310.16; así, el calibre de la fase en Cobre será un # 4/0 AWG THHN y para el caso en aluminio un #300 KCMIL AWG THHN.

Mediante la carga demanda por la vivienda, se hizo un análisis respectivo de un transformador, como se detallan los cálculos en la sección 4.1.1.13, se determinó su necesidad para el sistema: por lo tanto, de acuerdo a las potencias comerciales del catálogo RYMEL, se eligió un transformador de 75 KVA para satisfacer dicha demanda.

Teniendo disponibles los conductores anteriormente mencionados, en la sección 4.1.1.14, del desarrollo, donde se calcula la caída de tensión respectiva para cada uno de los materiales posibles a utilizar, se tiene lo siguiente:

Para el conductor de cobre: La caída de tensión en el conductor de fase #4/0 AWG THHN, su caída de tensión será de 1,47%.

Para el conductor de aluminio: La caída de tensión en el conducto de fase #300 KCMIL AWG THHN, su caída de tensión será de 1,05%

De igual manera como lo establece el código eléctrico nacional NEC 2008, lo que permite como máximo de caída de tensión entre la acometida y la de los circuitos ramales es de 5%, siempre y cuando la suma sea igual o menor a este (5%), además se calculó la caída de tensión para cada uno de los circuitos ramales, siendo determinados en las tablas 4.8 y 4.9 del desarrollo.

#### 4.11.2 Elección del material del conductor de la acometida

Mediante las conclusiones realizadas por la compañía General Electric (GE), entre el material cobre y aluminio para conductores eléctrico se tiene lo siguiente.

**Figura 4.18 Características conductores de cobre y aluminio**

Características	Cobre	Aluminio
• Resistencia a la tensión (lb/in <sup>2</sup> )	50,000	32,000
• Resistencia a la tensión para la misma conductividad (lb/in <sup>2</sup> )	50,000	50,000
• Peso para la misma conductividad	100	54
• Sección transversal para la misma conductividad	100	156
• Resistencia específica (ohms-cir/mil ft) (20 °C ref)	10.6	18.52
• Coeficiente de expansión (por °Cx10 <sup>-6</sup> )	16.6	23

Fuente: General Electric (GE)

De acuerdo a la figura 4.18, y otras diferencias de costos, se eligió utilizar el aluminio como el material idóneo para los conductores eléctricos de este diseño, además por las razones expuestas anteriormente, sin duda se resalta las más importantes para la elección tales como precios, resistencias a la tensión, resistencias a esfuerzos físicos, menor caída de tensión, coeficiente de expansión, etc.

#### 4.11.3 Diseño eléctrico implementado para un sistema fotovoltaico

El diseño fotovoltaico propuesto es un sistema conectado a red, la empresa encargada de la distribución y suministro de electricidad en este caso para la zona de Santa Ana, le corresponde a la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL).

Para efectos de cálculo mediante la información climatológica para la zona de Santa Ana, esta es suministrada por dos fuentes de información de gran prestigio y precisión, primeramente, se utilizó un software especializado para el cálculo de un sistema fotovoltaico (SOLARIUS PV) y la segunda es la administración nacional de la aeronáutica y del espacio, por sus siglas en inglés NASA.

Haciendo un respectivo análisis y tomando un criterio propio de las fuentes anteriormente mencionadas se eligió a Solarius PV, como la suministradora de información de la irradiación solar en KWh por metro cuadrados para la zona de la instalación del sistema fotovoltaico, ya que entre estas existen un porcentaje de diferencial de apenas 0,041%; por lo tanto, en los cálculos de los módulos fotovoltaicos no tendrá ningún cambio importante.

La estimación del consumo eléctrico de la vivienda se hace mediante parámetros tales como la aplicación (calculadora energética) de la comisión nacional de fuerza y luz CNFL y la revista de Eficiencia Energética del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Como se explicó en el párrafo anterior, la estimación del consumo diario de la unidad de vivienda es de 66.653 Kw diarios, el cálculo respectivo se encuentra en la tabla 4.12 del desarrollo. Este valor es utilizado posteriormente para el cálculo respectivo de los módulos fotovoltaicos, siendo este la cantidad de energía necesaria para satisfacer el 100% del consumo de la vivienda.

Se diseñó utilizando los módulos fotovoltaicos de la marca CSUN modelo 325-72P y JINKO JKM325-72, ambos con potencia pico de 325 W, según como lo estableció la sección 4.4; además

se utilizan inversores de la marca SOLAREGE SE 6000A –US y FRONIUS PRIMO 6.0, ambos de 6Kw de potencia, como también microinversores ENPHASE M250, para sus respectivas comparaciones entre ellos.

En cuanto a la generación de energía, se expusieron 4 casos: El primero consiste en generar electricidad a partir de un área de 500 m<sup>2</sup> de techos de instalación fotovoltaica, para ello se requieren 260 módulos fotovoltaicos, este caso genera un 641%, con un excedente de 541 %.

La generación de este excedente está dentro de lo establecido en el artículo 34 del reglamento de distribución para autoconsumo con fuentes renovables, donde se estipula que el productor- consumidor podrá almacenar la energía no consumida y que tendrá derecho de retirar un máximo 49% de la energía total generada, para utilizarla en meses siguientes.

Para el segundo caso, el cual consiste en el 100% del consumo de la vivienda, mediante la estimación del consumo eléctrico diario de 66.653 Kw, se requiere de 54 módulos fotovoltaicos; y el tercer caso que le corresponde al 50% del consumo, donde se requiere de 27 módulos fotovoltaicos.

Adicionalmente se implementa un caso 3.1 bajo el mismo consumo del caso 3, pero en vez de utilizar inversores centralizados se utilizan los microinversores de la marca ENPHASE, modelo M250.

En la tabla 4.16 se puede ver la relación entre paneles instalados y generación de energía.

**Tabla 4.16 comparación de energía generada por cada caso.**

<b>CASO</b>	<b>CANTIDAD DE PANELES</b>	<b>POTENCIA GENERADA KWh/Año</b>	<b>PORCENTAJE DE CONSUMO</b>
Caso 1	260 paneles	153.842,8	641%
Caso 2	54 paneles	31.952,3	100%
Caso 3	27 paneles	15.975,9	50%
Caso 3.1	27 paneles	15.975,9	50%

Para efectos de los arreglos de módulos fotovoltaicos, se estableció mediante los inversores de marca SOLAREGE SE 6000A –US y FRONIUS PRIMO 6.0, ambos de 6000 W de potencia.

Cada inversor tendrá un arreglo con 18 paneles solares, teniendo en cuenta que la posición para instalar se debe hacer en dirección hacia el sur y con un Angulo de inclinación de 20.95°. Además, cada arreglo tendrá 6 paneles en serie y 3 en paralelo, como se detalla en la figura 4.17, página 128.

#### **4.11.4 Análisis financiero**

Para efectos del análisis financiero se considerarán los casos anteriormente mencionados. Según se estableció en la sección 4.7, en la tabla 4.20, del desarrollo, página 131 para el caso 1, la inversión inicial es de ¢78.496.392 (setenta y ocho millones cuatrocientos noventa y seis mil trescientos noventa y dos dólares), en este se requiere instalar 260 módulos fotovoltaicos, además se toma en consideración la garantía de los paneles solares de 25 años como lo establece la empresa CIELO VIVO S.A.

A esto se le suma una tasa de descuento del 6% establecida por el BAC San José para financiar proyectos de energías renovables.

Mediante los cálculos realizados en la tabla 4.26, del desarrollo, página 141, se determinó que la inversión no se llegaría a recuperar en el plazo establecido, por consiguiente, el Valor Actual Neto (VAN) es de  $\text{¢}37.421.663$  (treinta y siete millones cuatrocientos veintiún mil seiscientos sesenta y tres colones), y la Tasa Interna de Retorno (TIR) es de 2%.

Bajo los criterios de la matemática financiera, la cual establece que si el Valor actual neto (VAN) es negativo y la tasa interna de retorno (TIR) es menor a la tasa de descuento establecida por el BAC San José, como en este caso, el proyecto se debe rechazar debido a que no generara ninguna ganancia; en otras palabras, en términos de retorno de inversión, el proyecto no se debe de aceptar por ningún motivo.

Como se estableció en la tabla 4.21, del desarrollo, página 132, para el caso 2 la inversión inicial es de  $\text{¢}15.782.412$  (quince millones setecientos ochenta y dos mil cuatrocientos doce colones), en él se requiere instalar 54 módulos fotovoltaicos, además se toma en consideración la garantía de los paneles solares de 25 años como lo establece la empresa CIELO VIVO S.A, a esto se suma una tasa de descuento del 6% establecida por el BAC San José para financiar proyectos de energías renovables.

Mediante los cálculos realizados en la tabla 4.27, del desarrollo, página 143, se determinó que la inversión se recuperaría en el año 10, por consiguiente, el

Valor Actual Neto (VAN) es de ¢ 28.564.895 (veinte ocho millones quinientos sesenta y cuatro mil ochocientos noventa y cinco colones), y la Tasa Interna de Retorno (TIR) es de 16%.

Bajo los criterios de la matemática financiera, se establece que si el VAN es positivo, se considera que la inversión es rentable para el plazo establecido; respecto a la TIR, al ser mayor que la tasa de descuento, el proyecto se considera viable respecto al caso anterior.

Como se detalla en la tabla 4.22, del desarrollo, página 133, para el caso 3 con inversores, la inversión inicial es de ¢5.079.616 (cinco millones setenta y nueve mil seiscientos dieciséis colones), en él se requiere instalar 27 módulos fotovoltaicos, además se toma en consideración la garantía de los paneles solares de 25 años, a esto se suma una tasa de descuento del 6% establecida por el BAC San José para financiar proyectos de energías renovables.

Finalmente, bajo el mismo consumo del caso 3, se implementa el caso 3.1, el cual consiste en instalar 27 micro- inversores y 27 paneles solares.

Mediante los cálculos realizados anteriormente, se determinó que el caso más favorable en términos de inversión es el caso 3.1 (con microinversores) donde la inversión se recuperaría en el año 3, por consiguiente, el Valor Actual Neto (VAN) es de ¢ 38.085.222 (treinta y ocho millones ochenta y cinco mil doscientos veinte dos colones) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) es de 44%.

Bajo los criterios de la matemática financiera, se establece que si el VAN es positivo se considera que la inversión es rentable para el plazo establecido; con

respecto a la TIR, al ser mucho mayor que la tasa de descuento, el proyecto es considerado viable.

Por lo tanto, mediante dicho anteriormente, se concluye que el caso más favorable para instalar el sistema fotovoltaico es el 3.1, el cual consiste en instalar 27 paneles solares y 27 micro-inversores, el mismo que consisten en el 50% del consumo de la unidad de vivienda, además tiene la tasa interna de retorno de 44%, que mediante los criterios de matemática financiera se presenta como la más óptima, ya que es mucho mayor a la tasa de descuento (6%), también tiene el menor tiempo de recuperación que los demás casos, este mismo se llegaría a recuperar en el año 3.

**Tabla 4.28 Comparación de análisis financiero**

<b>CASO</b>	<b>VAN</b>	<b>TIR</b>	<b>PERIODO DE RECUP.</b>
<b>Caso 1</b>	<b>¢ -37.421,663</b>	<b>2%</b>	<b>No se logra recuperar en el plazo establecido</b>
<b>Caso 2</b>	<b>¢ 28.654.895</b>	<b>16%</b>	<b>10 Años</b>
<b>Caso 3</b>	<b>¢ 37.121.957</b>	<b>37%</b>	<b>4 Años</b>
<b>Caso 3.1</b>	<b>¢ 38.085.222</b>	<b>44%</b>	<b>3 Años</b>

**Fuente: propia**

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

1. Tal como se especifica en el desarrollo del capítulo 4, se logró realizar una metodología para estimar el consumo eléctrico de la unidad de vivienda. Como se observa en la tabla 4.12, dicho consumo tiene un valor de 1999.6 KWh/mes, siendo este valor la base para las posibles estimaciones del sistema fotovoltaico como se detalla en la sección 4.4 del desarrollo.
2. Se realizó una investigación climatológica con el uso del método realizado por la NASA y el software especializado (SOLARIUS PV), con los cuales se logró determinar que, para la zona de Santa Ana de San José, el promedio anual de irradiación solar es de 5.01 de hora solar pico, además se contempla la energía generada por cada módulo fotovoltaico de 325 W, como lo especifica la sección 4.4.
3. Se procedió a realizar una interacción de cuatro casos posibles de soluciones fotovoltaica, donde se logra determinar el caso más idóneo para el diseño propuesto.

El primer caso que consiste en instalar módulos fotovoltaicos en la totalidad del área de techos disponibles, este corresponde al 641% del consumo y la instalación de 260 paneles solares; para el segundo caso consiste en el 100% del consumo eléctrico y la instalación de 54 paneles solares; finalmente el tercer caso que le corresponde al 50% del consumo eléctrico y a la instalación de 27 paneles solares con inversor y un cuarto caso llamado 3.1, donde se requieren 27 paneles con 27 microinversores, este último caso es el que se obtiene una mejor rentabilidad,

4. Como se muestra en la tabla 4.28 del análisis de resultados, donde se hace una comparación del valor actual neto, la tasa interna de retorno y el periodo de recuperación, también mediante el análisis de la sección 4.9, se concluye que el caso más rentable para el proyecto de la unidad de vivienda ubicada en Santa Ana, San José, corresponde al caso 3.1 el cual presenta un consumo eléctrico de la vivienda de un 50%, un valor actual neto de ₡ 38.085.222 (treinta y ocho millones ochenta y cinco mil doscientos veinte dos colones) y una tasa interna de retorno del 44%, la cual es mucho mayor que la tasa de descuento, lo que hace que el proyecto sea rentable, además un periodo de recuperación de 3 años que lo hace aún más atractivo.
5. Se realizó la estimación de un sistema mecánico, el cual consiste en la captación de aguas pluviales para riego de jardines, para ello se utilizó el código de instalaciones hidráulicas y sanitarias de edificaciones del CFIA, para las respectivas estimaciones de caudales, para posteriormente calcular el sistema de bombeo necesario, además se determinó los componentes necesarios para el riego de jardines de la unidad de vivienda como lo especifica la sección 4.10 del desarrollo.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda contratar una empresa experimentada en instalaciones de sistemas fotovoltaicos. Además, se recomienda ver la factibilidad de utilizar los programas de energías renovables implementadas por el BAC SAN JOSE denominadas "GREENPYMES", preferiblemente con una tasa de interés del 6% que ofrece esta entidad bancaria.
2. Se recomienda realizar el proyecto con el caso 3.1 con microinversores, el cual consiste en el 50% del consumo eléctrico de la vivienda puesto que es el más favorable en términos de inversión, como se logra observar en la sección 2.11; se recomienda utilizar el mes con menor irradiación solar para el cálculo de los módulos fotovoltaicos, puesto que, si se calcula en condiciones críticas, se sabe por consiguiente que se pueden suplir las necesidades de los demás meses del año.
3. Para este proyecto se recomienda utilizar micro-inversores esto para el caso más favorable, el cual corresponde al caso 3.1, donde tiene un 50% del consumo eléctrico, para ello se deben emplear 27 paneles solares y 27 micro-inversores.
4. Se recomienda utilizar equipos iguales o similares a los recomendados en todo en desarrollo del proyecto, esto con el fin de poder erradicar posibles fallas o averías en los diferentes tipos de sistemas que contempla la unidad de vivienda.

## REFERENCIAS

Reglamento de autoconsumo con fuentes renovables MINAE N°39220,2010.

INTECO. (2000). NORMA INTE 31-08-06-2000. "Niveles y condiciones de iluminación que deben de tener los centros de trabajo", Segunda Edición, 25.

Aresep. (2017) Planeación, operación y acceso al sistema eléctrico nacional (AR-NT-Poasen). Aresep

NFPA 70. (2008). National Electrical Code(NEC). Boston, USA.: Copyright.

Asociación de Empresas de Energía Renovable s. (2009 ). ¿Qué es la energía fotovoltaica? 29/12/20 017, de APPA Sitio web: <http://www.appa.es/09fotovoltaica/09tecnologia.php>


Ministerio de ambiente y Energía Instituto meteorológico Nacional. (2018). Brillo Solar en Costa Rica. Series de Brillo solar en Costa Rica, 2, 25. 01/02/2018, De IMN Base de datos.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2017). Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones. LA GACETA, 2, 222. 08/02/2018, De Scribd Base de datos.


## APÉNDICES

### Anexo 1: Fichas técnicas

#### Paneles solares: CSUN



# Poly



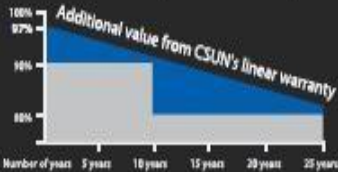
## CSUN325-72P

Standard Solar Product

Within the first year, the output power shall not be less than 97% of the minimum output power in CSUN's product datasheet, thereafter the loss of output power shall not exceed 0.7% per year, ending with 80.2% in the 25<sup>th</sup> year.

■ CSUN   ■ Standard warranty

**CSUN's NEW** linear performance warranty



**16.78%**  
Module efficiency

**325 W**  
Highest power output

**10 years**  
Material & workmanship warranty

**25 years**  
Linear power output warranty

- Industry leading conversion efficiency
- Made in Turkey for US market
- Positive tolerance offer
- Passed salt mist & ammonia corrosion, blowing sand and hail testing
- Certified to withstand wind and snow load
- Excellent performance under weak light conditions
- Good temperature coefficient enables better output in tropical regions

## Electrical characteristics at Standard Test Conditions (STC)

Module	CSUN 325-72P
Maximum Power - P <sub>mpp</sub> (W)	325
Positive power tolerance	-3~+3W
Open Circuit Voltage - Voc (V)	46.0
Short Circuit Current - I <sub>sc</sub> (A)	9.12
Maximum Power Voltage - V <sub>mpp</sub> (V)	37.7
Maximum Power Current - I <sub>mpp</sub> (A)	8.62
Module efficiency	16.78%

Electrical data relates to standard test conditions (STC): irradiance 1000W/m<sup>2</sup>; AM 1.5; cell temperature 25°C measuring uncertainty of power is within ±3%. Certified in accordance with IEC61215, IEC61730-1/2 and UL 1703

## Temperature Characteristics

Voltage Temperature Coefficient	-0.292%/K
Current Temperature Coefficient	+0.045%/K
Power Temperature Coefficient	-0.408%/K

## Maximum Ratings

Maximum system voltage (V)	1000
Series fuse rating (A)	20
Reverse current overload (A)	27

## Mechanical Characteristics

Dimensions	77.01 x 38.98 x 1.97" (1956 x 990 x 50 mm)
Weight	49.16 lbs (22.3 kg)
Frame	Anodized aluminum profile – black frame upon request
Front glass	White toughened safety glass, 0.13" (3.2 mm)
Cell Encapsulation	EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)
Back Sheet	Composite film – black back sheet upon request
Cells	6 x 12 pieces polycrystalline solar cells series strings (6.14 x 6.14"/ 156 x 156 mm)
Junction Box	Rated current ≥ 12A, IP ≥ 65, TUV & UL
Cable	Length 35.43" (900 mm), 1 x 4 mm <sup>2</sup>
Connector	MC 4/ compatible with MC 4

## Packaging

Container 20'	210 pcs.
Container 40'	504 pcs.
Container 40'HC	552 pcs.

## System Design

Temp. range	-40°F to +185°F (-40°C to +85°C)
Hail	Max. diameter of 0.98" (25mm) with impact speed of 51.2mph (23m/s)
Max. capacity	Wind 2400Pa, snow 5400Pa
Application class	A
Safety class	II

Paneles solar: JINKO

# PANELES SOLARES JINKO



MODELO	POTENCIA	CANTIDAD	PRECIO
JKM325PP-72/Deta	325 W	1- 25 Unidades	\$182
JKM325PP-72/Caja	325 W	26 - 49 Unidades	\$162
JKM325PP-72/Palle	325 W	50 en adelante	\$156



## Microinversor ENPHASE

# MICROINVERSORES ENPHASE



MODELO	PRECIO
IQ6+	\$112
IQ Engage Cable/r	\$15
IQ Envoy	\$404
M250	\$105
Engage Cable/m	\$14
Envoy S	\$404



**Inversor:**



**Inversores monofásicos para Norteamérica**

SE3000A-US / SE3800A-US / SE5000A-US / SE6000A-US  
SE7600A-US / SE10000A-US / SE11400A-US

	SE3000A-US	SE3800A-US	SE5000A-US	SE6000A-US	SE7600A-US	SE10000A-US	SE11400A-US
<b>SALIDA</b>							
Salida de CA Nominal	3000	3800	5000	6000	7600	9980 @ 208V 10000 @ 240V	11400
Salida Máx. de CA	3300	4150	5400 @ 208V 5450 @ 240V	6000	8350	10800 @ 208V 10950 @ 240V	12000
Voltaje de salida de CA	-	-	✓	-	-	✓	-
Mín.-Nom.-Máx. <sup>(1)</sup> 183 - 208 - 229 Vca	-	-	✓	-	-	✓	-
Voltaje de salida de CA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Mín.-Nom.-Máx. <sup>(1)</sup> 211 - 240 - 264 Vca	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Frecuencia de CA Mín.-Nom.-Máx. <sup>(4)</sup>	59,3 - 60 - 60,5						
Máx. corriente continua de salida	12,5	16	24 @ 208V 21 @ 240V	25	32	48 @ 208V 42 @ 240V	47,5
IDFT (Interruptor detector de falla de conexión a tierra)						1	
Monitoreo de utilidad, protección aislante, Parámetros configurables por país						Si	
<b>ENTRADA</b>							
Máxima CD recomendable (STC)	4050	5100	6750	8100	10250	13500	15350
No transformador, sin conexión a tierra	Si						
Máx. voltaje de entrada	500						
Voltaje de entrada de CD nominal	325 @ 208V / 350 @ 240V						
Máx. corriente de entrada <sup>(2)</sup>	9,5	13	16,5 @ 208V 15,5 @ 240V	18	23	33 @ 208V 30,5 @ 240V	34,5
Máx. corriente de cortocircuito de entrada	45						
Protección contra reversión de polaridad	Si						
Detección de aislación por falla de conexión a tierra	Sensibilidad de 600k $\Omega$						
Máxima eficiencia del inversor	97,7	98,2	98,3	98,3	98	98	98
Eficiencia ponderada (CEC)	97,5	98	97 @ 208V 98 @ 240V	97,5	97,5	97 @ 208V 97,5 @ 240V	97,5
Consumo energético nocturno	< 2,5					< 4	

CARACTERÍSTICAS ADICIONALES

Inversor: Fronius Primo 6.0

# INVERSORES FRONIUS



MODELO	POTENCIA	VOLTAJE	PRECIO
Primo 3.8	3800 W	208-240V	\$1 849
Primo 5.0	5000 W	208-240V	\$2 066
Primo 6.0	6000 W	208-240V	\$2 261
Primo 7.6	7600 W	208-240V	\$2 609
Primo 8.2	8200 W	208-240V	\$2 744
Primo 10	10000 W	208-240V	\$3 379
Primo 11.4	11400 W	208-240V	\$3 744
Primo 12.5	12500 W	208-240V	\$4 021
Primo 15	15 kW	208-240V	\$4 655
Symo 10 Delta	10000 W	Delta 208-240	\$3 704
Symo 10	10000 W	480V	\$3 585
Symo 10 Lite	10000 W	480V	\$3 359
Symo 12 Delta	12000 W	Delta 208-240	\$4 096
Symo 12.5	12500 W	480V	\$3 866
Symo 15 208	15000 W	208V	\$3 806
Symo 15 208 Lite	15000 W	208V	\$3 576
Symo 15	15000 W	480V	\$4 077
Symo 17.5	17500 W	480V	\$4 131
Symo 17.5 Lite	17500 W	480V	\$3 894
Symo 20	20000 W	480V	\$4 064
Symo 22.7	22700 W	480V	\$4 116
Symo 24	24000 W	480V	\$4 211

## Luminaria:

**SYLVANIA**

LED

Lámparas

### TOLEDO ALTA POTENCIA



#### Características

- Alta calidad lumínica.
- Hasta un 80% de ahorro de energía, comparado con otras tecnologías.
- Vida promedio de hasta 25 000 hrs (en prueba L70).
- No emite luz ultravioleta ni infrarroja.
- No atrae insectos.
- Encendido inmediato.
- Disponible en luz día.
- Ideal para iluminar amplias áreas.

#### Aplicaciones

- Hotelería.
- Residencial.
- Restaurantes.
- Comercios.

#### Especificaciones

Código	Descripción Comercial	Potencia (W)	Flujo Lumínico (lm)	CCT (K)	Tensión (V)	Base	Vida Útil (h)
P24800-36	Toledo High Power Led 20W 6500K	20	1800	6500	100-240	E27	25000

## Anexo 2: Cotizaciones

### Cotización caso #1: Área total de techos



#### Propuesta para la instalación de un Sistema de Energía Renovable

Preparado para: Dennis Rodríguez Rojas  
Atención a: Dennis Rodríguez Rojas

Nos complace someter a su consideración la propuesta para el proyecto:

*Sistema Fotovoltaico: Casa Dennis Rodríguez Rojas*



#### Propuesta de trabajo

San José, Costa Rica  
22 / feb / 2018

Estimable Dennis Rodríguez Rojas,

Gracias por darle a Cielo Vivo la oportunidad de presentarle nuestra propuesta preliminar para su Proyecto Solar. Estamos orgullosos de poder ofrecerle nuestro servicio al cliente, así como de los productos de los que disponemos. Esperamos ayudarle a ahorrar dinero y reducir su impacto ecológico.

Se adjunta su Propuesta Preliminar que le dará una idea del precio de su sistema. Cada sistema está diseñado a la medida de cada cliente (totalmente personalizado). Cabe mencionar que aun así, es posible que algunos ajustes sean necesarios dependiendo de las externalidades al sistema. Por favor, no dude en contactarnos con cualquier pregunta que usted pueda tener.

Con base en la descripción facilitada se asume un consumo de las siguientes características:

Proveedor: CNFL  
Tarifa: RE  
Medidor: n.d.  
Consumo total: 2.000 kWh  
Factura mensual: \$ 415

Se ha diseñado un sistema de 84,5 kW, con 260 paneles marca CSUN de 325 Wp y con 15 inversores de 6 kW. Dicho sistema cubrirá un 507% del consumo histórico proporcionado.

Precio: \$ 138.333  
Retorno: 17 y + 2 m  
TIR: 4,4%

Precio Por Watt	1,637 \$/W
-----------------	------------

De nuevo quisiera extender nuestro agradecimiento por su interés y por la oportunidad brindada de ponernos a su servicio. Esperamos con interés trabajar con ustedes.

Saludos cordiales,

## cotización caso #2: 100% del consumo eléctrico.



### Propuesta para la instalación de un Sistema de Energía Renovable

Preparado para: Dennis Rodríguez Rojas  
Atención a: Dennis Rodríguez Rojas

Nos complace someter a su consideración la propuesta para el proyecto:

*Sistema Fotovoltaico: Casa Dennis Rodríguez Rojas*



### Propuesta de trabajo

San José, Costa Rica  
22 / feb / 2018

Estimable Dennis Rodríguez Rojas,

Gracias por darle a Cielo Vivo la oportunidad de presentarle nuestra propuesta preliminar para su Proyecto Solar. Estamos orgullosos de poder ofrecerle nuestro servicio al cliente, así como de los productos de los que disponemos. Esperamos ayudarle a ahorrar dinero y reducir su impacto ecológico.

Se adjunta su Propuesta Preliminar que le dará una idea del precio de su sistema. Cada sistema está diseñado a la medida de cada cliente (totalmente personalizado). Cabe mencionar que aun así, es posible que algunos ajustes sean necesarios dependiendo de las externalidades al sistema. Por favor, no dude en contactarnos con cualquier pregunta que usted pueda tener.

Con base en la descripción facilitada se asume un consumo de las siguientes características:

Proveedor: CNFL  
Tarifa: RE  
Medidor: n.d.  
Consumo total: 2.000 kWh  
Factura mensual: \$ 415

Se ha diseñado un sistema de 17,55 kW, con 54 paneles marca CSUN de 325 Wp y con 3 inversores de 6 kW. Dicho sistema cubrirá un 100% del consumo histórico proporcionado.

Precio: \$ 27.807  
Retorno: 5 y + 1 m  
TIR: 22,7%

Precio Por Watt	1,584 \$/W
-----------------	------------

De nuevo quisiera extender nuestro agradecimiento por su interés y por la oportunidad brindada de ponernos a su servicio. Esperamos con interés trabajar con ustedes.

Saludos cordiales,

### Anexo 3: Facturación eléctrica

#### Tarifa de acceso a la red de distribución.

Empresa	Tarifa de Acceso (c/kWh)
ICE	28,44
CNFL	17,92
JASEC	14,68
ESPH	8,48
COOPELESCA	9,50
COOPEGUANACASTE	15,98
COOPESANTOS	27,13
COOPEALFARO	17,96

#### Costo por conexión a la CNFL

Pliego Tarifario (Rige a partir del sábado 01 de julio 2017) ALCANCE N° 152 del lunes 26 de junio del 2017 (Tarifa Incluye CVC)			
Bloques de consumo			
Consumo menor o igual a 3.000 kWh			¢ 106,08
	Por Consumo de Energía	Bloque de 0- 3.000 kWh Cargo Fijo	¢ 191.580,00
		Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢ 63,86
	Cargo por Potencia	Bloque 0- 8 KW Cargo Fijo	¢79.974,48
		Bloque mayor a 8 kW	¢9.996,81