

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS
AMÉRICAS**

VICERRECTORÍA ACADÉMICA

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**DISEÑO ELÉCTRICO Y MECÁNICO RESIDENCIAL
USANDO ENERGÍAS RENOVABLES**

DIEGO VIALES NÁJERA

MÁSTER BILLY RETANA PEÑA

SEDE ARANJUEZ

DICIEMBRE, 2018

Contenido

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	22
Introducción	23
Planteamiento de Problema	24
Objetivos.....	24
Objetivo general	24
Objetivos específicos.....	24
Justificación	25
Antecedentes.....	26
Antecedente 1	26
Antecedente 2	28
Antecedente 3	29
Antecedente 4	31
Proyecciones.....	32
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	33
Normativa para instalaciones eléctricas en Costa Rica	34
Artículos del Código Eléctrico Nacional 2008 para diseño de viviendas	34
Artículo 210.11(C)(1). Unidad de vivienda. Circuitos ramales de electrodomésticos pequeños	34
Artículo 210.11(C)(2). Unidad de vivienda. Circuitos ramales para lavandería	34
Artículo 210.11(C)(3). Unidad de vivienda. Circuitos ramales para cuartos de baños	34
Artículo 210.19(A)(1). Circuitos ramales de no más de 600 voltios.....	35

Artículo 220.12. Cargas de alumbrado para ocupaciones específicas.....	36
Artículo 220.14 (J). Otras cargas para todo tipo de ocupaciones. Ocupaciones para viviendas	37
Artículo 220.42. Factor de demanda de cargas de alumbrado.....	38
Artículo 220.50. Motores.....	38
Artículo 220.52 (A). Cargas de electrodomésticos pequeños y lavandería en unidades de vivienda	38
Artículo 220.52.B. Carga del circuito de lavandería	39
Artículo 220.53. Cargas de electrodomésticos en unidades de vivienda.....	39
Artículo 220.54. Secadoras eléctricas de ropa en unidades de vivienda	39
Artículo 220.55. Estufas eléctricas y otros electrodomésticos de cocción en unidades de vivienda	40
Artículo 220.61 Carga del neutro del alimentador o la acometida	41
Artículo 220.82. Unidades de vivienda	42
Artículo 240.6 Valores en amperios nominales normalizados	42
Artículo 250.66. Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra de corriente alterna ...	43
Artículo 430.24. Varios motores o unos motores y otras cargas	45
Artículo 430.25. Equipos de varios motores y cargas combinadas	45
Artículo 430.26. Factor de demanda del alimentador	45
Artículo 310.16. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de 0 a 2000 voltios y 60 grados Celsius a 90 grados Celsius (140 grados Fahrenheit a 194 grados Fahrenheit). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basados en una temperatura ambiente de 30 grados Celsius (86 grados Fahrenheit).....	46
Método de lúmenes.....	47

Procedimiento.....	47
Norma INTECO INTE 31-08-06-2000	50
Conceptos generales sobre diseño eléctrico	50
Puesta a tierra.....	50
Interruptor automático.....	50
Corriente de cortocircuito.....	51
Falla a tierra.....	52
Conductores eléctricos y aislamientos.....	52
Partes de un cable eléctrico.....	52
Tipos de conductores eléctricos.....	52
Tipos de aislamientos de cables eléctricos.....	53
Conceptos básicos sobre sistemas fotovoltaicos	54
Aspectos generales sobre la energía foto voltaica.....	54
Sistemas fotovoltaicos.....	54
Generador fotovoltaico.....	55
Baterías de acumulación.....	56
Regulador de carga.....	56
Inversor DC/AC.....	57
Radiación solar.....	58
Dimensionamiento de los paneles solares.....	60
Consumos de energía eléctrica.....	62
Artículos y normas sobre generación de electricidad.....	66

Artículos de la norma técnica AR-NT-POASEN 2016	66
Capítulo XII. Generación a pequeña escala para autoconsumo.	66
Artículos de la Ley N° 39220-MINAE.....	68
Capítulo IV. Disposiciones generales para el sistema de generación distribuida para autoconsumo.....	68
Artículos sobre la ley de supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión AR-NT-SUCOM.....	68
Capítulo XVI. Interconexión, acceso y suministro eléctrico para abonados-usuarios-productores.....	68
Sistema hidrosanitario	69
Artículos del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (Edición 2017) del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.....	69
Capítulo 6. Sistemas de agua fría y agua caliente.	69
Capítulo 7. Sistemas de desagüe de aguas residuales.....	71
Capítulo 9. Normas para sistemas de recolección y evacuación de aguas de lluvia	75
Diámetro de la tubería.	80
Altura manométrica.....	81
Altura geométrica.....	82
Pérdidas de carga por rozamiento.....	82
Captación de agua pluvial.....	85
Partes del sistema de captación de agua.....	86
Aire acondicionado.....	87
Funcionamiento	87

	10
Componentes de un aire acondicionado.....	87
Aspectos para tomar en cuenta para calcular el aire acondicionado.....	88
Frigorías.....	88
Matemática financiera	90
Valor actual neto (VAN).....	90
Tasa interna de retorno (TIR).....	91
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO	93
Enfoque de la investigación.....	94
Métodos de la investigación	94
Planteamiento del problema.....	94
Investigación.....	94
Desarrollo.....	94
Conclusión.....	95
Diagrama de flujo	95
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS	96
Memoria de cálculo para iluminación	97
Método de lúmenes.....	97
Memoria de cálculo para circuitos.....	103
Cargas de circuitos de iluminación.....	103
Cargas de circuitos de baños.....	103
Cargas de circuitos de electrodomésticos pequeños.....	103
Carga de circuitos de lavandería.....	104

Factor de demanda iluminación y tomas.	104
Salidas fijas.	104
Circuito de secadora.	105
Circuitos de cocción.	106
Motor más grande.	106
Seleccionar el aire acondicionado.	106
Circuitos de climatización.	112
Cálculo de acometidas, tierra y neutro.	112
Cálculo de los calibres de acometida, tierra y neutro.	114
Cálculo de fusibles e interruptor automáticos de disparo fijo.	115
Cálculo de caída de tensión en circuitos ramales y acometida.	116
Consumos aproximados de la residencia según dispositivos instalados.	120
Radiación solar.	122
Cálculo del número de paneles solares.	124
Cálculo de la generación mensual de los paneles solares.	125
Dimensiones de los módulos fotovoltaicos.	135
Área destinada a la instalación.	135
Selección del inversor.	136
Cálculo del inversor.	137
Cálculo del microinversor.	138
Sistema mecánico.	141
Sistema de captación pluvial.	141

Cálculo de las tuberías de desagüe.	141
Cálculo del tanque de colector.....	142
Cálculo de la bomba.	143
Diámetros para la succión e impulsión.....	144
Altura manométrica.	145
Cálculo de la bomba de piscina.	148
Cálculo de la bomba de piscina.	151
Cálculo de la bomba de fuente.	152
Cálculo de la bomba de fuente.	155
Análisis financiero.....	157
Tarifas aplicables según Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).	158
Definiciones:.....	159
Cálculo del valor actual neto (VAN).....	169
Tasa interna de retorno (TIR).....	170
Costos de materiales eléctricos y mecánicos.....	186
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	187
Conclusiones.....	188
Recomendaciones	191
CAPÍTULO 6: PROPUESTA	192
Propuesta	193
REFERENCIAS	199
Bibliografía.....	200

ANEXOS205

Lista de Tablas

Tabla 1. Coeficiente de mantenimiento	48
Tabla 2. Cálculo de lúmenes.....	100
Tabla 3. Distribución del tipo de lámparas.....	101
Tabla 4. Luminarias y transformador para piscina y fuente	102
Tabla 5. Modelo del transformador	102
Tabla 6. Cálculo de frigorías según Low Cost Clima.....	107
Tabla 7. Cálculo de frigorías según Total Home Supply	107
Tabla 8. Cálculo de frigorías según fórmula de Miguel González.....	108
Tabla 9. Cálculo de frigorías según fabricante Carrier.....	109
Tabla 10. Cuadro resumen de resultados en BTU	110
Tabla 11. Modelos escogidos para climatización.....	112
Tabla 12. Resumen de carga instalada, carga demandada y neutro	113
Tabla 13. Interruptor recomendado	115
Tabla 14. Resumen de los conductores para fases, tierra y neutro	115
Tabla 15. Descripción de los circuitos del tablero principal	117
Tabla 16. Cálculo de caída de tensión del tablero principal.....	118
Tabla 17 Descripción de los circuitos del tablero de piscina y fuente	119
Tabla 18 Cálculo de caída de tensión del tablero de piscina y fuente	119
Tabla 19. Consumos aproximados.....	121
Tabla 20. Consumo aproximado.....	122
Tabla 21. Radiación solar en Dominical	123

Tabla 22. Cantidad de paneles para generación al 100%	127
Tabla 23. Generación máxima del sistema fotovoltaico.....	128
Tabla 24. Cantidad de paneles para generación al 100%	129
Tabla 25. Generación máxima del sistema fotovoltaico.....	130
Tabla 26. Cantidad de paneles para generación al 100%	131
Tabla 27. Cantidad de paneles para generación al 100%	134
Tabla 28. Generación máxima del sistema fotovoltaico.....	135
Tabla 29. Generación máxima del sistema fotovoltaico.....	140
Tabla 30. Resumen de tubería equivalente de tubo recto	147
Tabla 31. Resumen de las pérdidas en el tramo de impulsión.....	148
Tabla 32. Resumen de tubería equivalente de tubo recto para fondo.....	150
Tabla 33. Resumen de tubería equivalente de tubo recto para fondo.....	150
Tabla 34. Resumen de tubería equivalente de tubo recto para fondo.....	154
Tabla 35. Resumen de tubería equivalente de tubo recto para fondo.....	154
Tabla 36. Resumen bombas y pérdidas	156
Tabla 37. Cotizaciones de paneles solares.....	157
Tabla 38. Cotizaciones de paneles solares.....	158
Tabla 39. Costos de inversor central vs. microinversor	158
Tabla 40. Costos según ICE 2018	159
Tabla 41. Costos aproximados.....	159
Tabla 42. Costos al 125% de la generación.....	161
Tabla 43. Costos anuales con paneles y sin paneles.....	163

Tabla 44. Costos al 100% de la generación.....	163
Tabla 45. Costos con paneles y sin paneles.....	164
Tabla 46. Costos al 75% de la generación.....	165
Tabla 47. Costos al 75% con paneles y sin paneles.....	166
Tabla 48. Costos al 50% de la generación.....	166
Tabla 49. Costos al 50% con paneles y sin paneles.....	167
Tabla 50. Costos al 561% de la generación.....	168
Tabla 51. Costos al 561% con paneles y sin paneles.....	169
Tabla 52. Ahorro anual.....	171
Tabla 53. Valor actual neto inversión con inversores centrales	172
Tabla 54. Valor actual neto inversión con microinversores	173
Tabla 55. Resumen del VAN y TIR	173
Tabla 56. Ahorro anual.....	174
Tabla 57. Valor actual neto con inversores centrales	175
Tabla 58. Valor actual neto con microinversores	175
Tabla 59. Resumen del VAN y TIR	176
Tabla 60. Ahorro anual.....	177
Tabla 61. Valor actual neto con inversores centrales	177
Tabla 62. Valor actual neto inversión con microinversores	178
Tabla 63. Resumen del VAN y TIR	179
Tabla 64. Ahorro anual.....	180
Tabla 65. Valor actual neto con inversores centrales	180

Tabla 66. Valor actual neto inversión con microinversores	181
Tabla 67. Resumen del VAN y TIR	182
Tabla 68. Ahorro anual.....	182
Tabla 69. Valor actual neto con inversores centrales	183
Tabla 70. Valor actual neto inversión con microinversores	184
Tabla 71. Resumen del VAN y TIR	185
Tabla 72. Resumen comparativo del VAN y el TIR	185
Tabla 73. Resumen de circuitos en tablero principal.....	194
Tabla 74 Resumen de circuitos en tablero de piscina y fuente.....	194
Tabla 75. Resumen de carga instalada, carga demandada y neutro	195
Tabla 76. Resumen de los conductores para fases, tierra y neutro	196
Tabla 77. Resumen bombas y pérdidas	197
Tabla 78. Ahorro anual.....	197
Tabla 79. Valor acumulado en 20 años	198

Lista de Figuras

Figura 1. Cargas de alumbrado general por tipo de ocupación	37
Figura 2. Factores de demanda para alumbrado de la tabla 220.42.....	38
Figura 3. Factores de demanda para secadoras de ropa eléctricas.....	40
Figura 4. Factores de demanda y cargas para estufas.....	41
Figura 5. Calibre del conductor de puesta a tierra.....	44
Figura 6. Ampacidades en conductores aislados	46
Figura 7. Distribución de las luminarias.....	49
Figura 8. Valores recomendados de iluminación	50
Figura 9. Modelo básico de un sistema fotovoltaico	55
Figura 10. Semiconductor de la unión P-N	56
Figura 11. Sistema fotovoltaico en serie con inversor central.....	57
Figura 12. Sistema fotovoltaico en paralelo con microinversores.....	58
Figura 13. Extracto de los valores medios de radiación solar en Costa Rica	59
Figura 14. Herramienta de la NASA para irradiación solar	59
Figura 15. Calculadora de consumos.....	64
Figura 16. Ficha de potencia eléctrica según CNFL	65
Figura 17. Ficha de potencia eléctrica según ICE	65
Figura 18. Diámetros, presiones y caudales mínimos requeridos en los puntos de alimentación de las piezas sanitarias.....	70
Figura 19. Velocidades y caudales máximos recomendados de acuerdo con los criterios anteriores, para tuberías de hierro galvanizado, CPCV y de PVC	71

Figura 20. Coeficiente de esorrentía	77
Figura 21. Factores de esorrentía	78
Figura 22. Intensidad de lluvia (mm/h) para un periodo de retorno de 10 años.....	78
Figura 23. Intensidades de lluvia (mm/h) para un periodo de retorno de 25 años	79
Figura 24. Caudales máximos en bajantes de desagüe	79
Figura 25. Tabla de pérdidas en tubería de PVC y polietileno para agua	83
Figura 26. Pérdidas de carga en accesorios	84
Figura 27. Coeficientes C para Hazen-Williams	84
Figura 28. Curva característica para bombas modelo CM050/23M.....	85
Figura 29. Diagrama de flujo del marco metodológico.....	95
Figura 30. Plano representando las luminarias	97
Figura 31. Localización aproximada de Dominical.....	123
Figura 32. Espacio de techos	136
Figura 33. Diagrama del arreglo de paneles	138
Figura 34. Curva de rendimiento	151
Figura 35. Curva de rendimiento	155

Agradecimiento y Dedicatoria

Dedico este proyecto a mis padres, Vilma y Wilbert, quienes siempre me han apoyado en mis estudios y me han brindado todas las herramientas necesarias para salir adelante. Siempre me enseñaron la importancia del estudio, a pesar de que ellos nunca tuvieron esa oportunidad; me inculcaron valores muy importantes, entre ellos, el trabajo duro, la responsabilidad, la dedicación, el esfuerzo. Gracias a ellos, hoy tengo un buen trabajo, tengo mis estudios y se cómo defenderme en la vida.

También, agradezco a mis familiares, hermanas, amigos, compañeros de estudio y a Tatiana Jiménez, quienes son personas muy importantes que me han apoyado y motivado a seguir adelante, y que además con sus palabras y acciones me ha alentado a continuar hasta el final. De igual manera, agradezco a mi tutor Billy, quien me ayudó en este proceso que me ha tomado muchos años de esfuerzo, gracias a su guía y dedicación en esta tesis; así como profesor.

Resumen Ejecutivo

El proyecto de investigación tuvo como objetivo principal desarrollar un diseño eléctrico que cumpla con las normas mínimas requeridas por la constitución y, en la parte mecánica, que incluya los sistemas de bombeo óptimos. Todo esto se realizó en conjunto con sistemas de energías renovables y de aprovechamiento de agua llovida.

El diseño eléctrico propuesto se basó en el Código Eléctrico Nacional 2008. Se diseñaron los conductores de circuitos principales y ramales. Además, se calculó la caída de tensión en ramales y acometida; así mismo, se ajustó el calibre de los conductores para garantizar que el voltaje estuviese acorde con la norma.

Se evaluó un sistema de captación de agua llovida para uso de riego de jardines como propuesta para reutilizar el agua pluvial en lugar de agua potable para este tipo de actividades. Con los cálculos del tanque de captación, también, se definió la bomba requerida para dicho sistema de riego; todo esto basado en las normas del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. En el sistema mecánico, se incluyó el tamaño propuesto para el sistema de bombeo de la piscina y fuente.

En el sistema fotovoltaico, se consideraron los consumos estimados basados en estudios y recomendaciones hechos por el MINAE, ICE, CNFL para cuantificar el consumo eléctrico y así diseñar el sistema de paneles solares acorde a las necesidades energéticas. Para el diseño de los paneles, se investigó la irradiación solar; a su vez, se diseñó el sistema utilizando como referencia el mes de menor irradiación solar, con el fin de crear varios escenarios que compararan los consumos y la generación eléctrica. Estos datos se utilizaron para estimar las facturas eléctricas y calcular por medio del valor actual neto y la tasa interna de retorno si un sistema fotovoltaico es viable.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Introducción

El presente trabajo de investigación muestra la mejor manera de hacer un diseño eléctrico para servicios generales de una residencia, tales como iluminación, salidas de toma corrientes generales y especiales, sistemas de aire acondicionado, dimensionamiento de las bombas para fuente, piscina y tanque de captación para riego de jardines. También, se va a hacer un análisis de viabilidad para usar paneles fotovoltaicos como método alternativo amigable con el ambiente, que se implementaría en una residencia ubicada en Dominical de Puntarenas.

La residencia es un único edificio de un piso, con una altura aproximada de 2.80 metros, y una construcción de 600 metros cuadrados. Dicha residencia cuenta con área de parqueo, piscina, cuatro cuartos, terraza, lavandería, y zonas de recreo.

Es importante siempre tomar en cuenta el aporte ecológico en los diseños eléctricos o mecánicos, para así reducir la contaminación ambiental. En este caso de estudio, se considera provechoso utilizar la energía solar para alimentar en su totalidad la residencia o, al menos parcialmente; lo cual disminuirá la huella de carbono gracias a la reducción del consumo eléctricos mediante la autogeneración de electricidad, sino que también bajará los costos de la factura mensual. El proyecto va a explicar las ventajas y las limitantes de un diseño óptimo para sacar el máximo provecho a un sistema fotovoltaico.

Adicionalmente, se va a tomar en cuenta los costos de la compra del equipo, instalación, mantenimiento, costo de recuperación de la inversión, así como todos los elementos relacionados con el análisis financiero. El proyecto no solamente pretende ser un sistema amigable con el ambiente, sino también busca ser un sistema atractivo para el sector residencial en cuanto al aspecto financiero.

Es importante considerar que esta residencia cuenta con una amplia área de techos que se pueden utilizar para colocar los paneles solares; así como con un sistema de captación de agua pluvial que se puede aprovechar para riego de jardines, limpieza de terrazas, entre otras. El almacenamiento de agua llovida es un método provechoso y amigable con el ambiente, ya que evita el uso de agua potable para tareas que no lo requieran, permite un importante ahorro en recursos hídricos y energía, puesto que no se usa el sistema de agua potable del proveedor de servicios, sino que emplea un tanque de almacenamiento y una bomba.

Planteamiento de Problema

¿Cuál es el diseño eléctrico y mecánico óptimo que incluya sistemas de energías renovables para alimentar una residencia ubicada en Dominical, Puntarenas?

Objetivos**Objetivo general**

Desarrollar el diseño eléctrico y mecánico óptimo que incluya sistemas de energías renovables para alimentar una residencia ubicada en Dominical, Puntarenas.

Objetivos específicos.

1. Definir y diseñar el sistema eléctrico de iluminación y cargas especiales de una residencia con base en el Código Eléctrico Nacional (NEC, 2008).
2. Investigar y diseñar la mejor solución de un sistema mecánico de bombeo para la residencia.
3. Investigar y proponer un posible diseño de un sistema de reutilización de agua pluvial.
4. Investigar y valorar el posible diseño de un sistema fotovoltaico para la residencia.
5. Determinar por medio de un estudio financiero la posible disminución del consumo de energía eléctrica para la unidad de vivienda a diseñar.

Justificación

Diariamente, el país crece; se hacen más edificaciones, construcciones, residencias, etc. Por lo cual, es importante que cada construcción tenga diseños eléctricos de alta calidad basados en estándares, los cuales sean diseños óptimos y lo más eficientes posibles. Además, este constante crecimiento genera el consumo de cantidades enormes de energía en combustibles fósiles y energía eléctrica. El crecimiento del país demanda cada vez mayor consumo de electricidad; es por esta razón que se construyen nuevas plantas hidroeléctricas que permiten llenar esas necesidades energéticas, las cuales son llamadas energías limpias. Sin embargo, tienen un impacto ambiental, especialmente en los lugares donde se construyen dichas plantas hidroeléctricas. Además, cuando en época seca el nivel del agua no es suficiente para llenar las necesidades eléctricas, se requiere el uso de plantas generadoras que funcionan a base de combustibles fósiles como el diésel.

Ante esta situación y sabiendo que el país va en caminado a lograr un sistema de carbono neutral, cada vez se presenta más la necesidad de emplear métodos alternativos que permitan reducir el consumo de energía eléctrica y reutilizar el agua pluvial para usos básicos como riego de jardines, inodoros, etc. El uso de la energía solar se vuelve cada vez más importante como energía alternativa para evitar o al menos reducir la contaminación que conlleva producir energía eléctrica.

Este proyecto tiene la finalidad de hacer un diseño eléctrico que incluya energías renovables y un estudio de viabilidad tanto financiero como del espacio, el cual muestre por qué los paneles solares son una de las mejores opciones que se pueden utilizar en el sector residencial para ahorrar dinero e incentivar el uso de la energía solar como energía limpia amigable con el ambiente. También, se pretende valorar el sistema de captación de agua pluvial como método alternativo para ahorrar agua.

La motivación viene dada especialmente por lo útil que resulta implementar este método tanto por la parte financiera para el sector residencial, como por la parte ambientalista. También porque esto ayuda a alcanzar el objetivo del país de ser carbono neutral. Todo esto debido que los consumos de energías no amigables con el ambiente dañan severamente la capa de ozono, generan el efecto invernadero y provocan enfermedades respiratorias.

Antecedentes

Antecedente 1

Quirós (2004), estudiante de la Universidad de Costa Rica, San Pedro, realizó la tesis de bachillerato denominada *Implementación de un sistema energético renovable no convencional para la unidad de cuidados paliativos de Alajuela*. De este trabajo, se tomará en cuenta el cálculo del consumo por día, considerando el mes de menor irradiación solar y los consumos estimados de energía eléctrica. En el caso de la presente tesis, se analizan todos los días de la semana como si fuesen días trabajados, debido a que es una casa de habitación.

Fórmula 1. Corriente total consumida

$$C_t = \frac{Kwh}{mes} \times \frac{1 mes}{días trabajados}$$

Nota: Quirós (2004).

Donde:

C_t : Es la carga de corriente alterna total por día que se consume en la residencia.

También, es importante considerar las pérdidas por el inversor. Para ello, se toma el resultado de la fórmula anterior, el cual da un valor en kWh/día, y se le divide por una eficiencia de al menos un 85%, usando el peor de los casos en eficiencia del equipo fotovoltaico. La fórmula sería la siguiente:

Fórmula 2. Eficiencia del inversor

$$Rendimiento = \frac{C_t}{\eta}$$

Nota: Quirós (2004).

Donde:

η = Es la eficiencia del convertidor.

El número de paneles que se van a utilizar se basa en la estimación del consumo diario en horas de kW, del tipo de panel que se va a instalar y de la configuración a usar. En el caso de

estudio, se usa un sistema en paralelo. Se calcula la corriente de la carga para obtener el número de paneles a ser usados.

Fórmula 3. Arreglo de paneles en paralelo

$$I_c = \frac{C_t}{12 \text{ voltios}}$$

Nota: Quirós (2004).

Donde:

I_c : Es la corriente que consume la carga en amperios hora por día.

Los paneles por instalar deben ser capaces de generar la corriente para la cual se está diseñando el sistema.

Fórmula 4. Corriente del panel según hora pico solar

$$I_p = \frac{\text{Cantidad de horas sol}}{\text{día}} \times \text{Corriente que proporciona cada panel}$$

Nota: Quirós (2004).

Donde:

I_p : Es la corriente que aporta el panel en un día promedio de funcionamiento.

Finalmente, la cantidad de paneles está dada por:

Fórmula 5. Número de paneles solares

$$N = \frac{I_c}{I_p}$$

Nota: Quirós (2004).

Antecedente 2

Calderón (2013), estudiante de la Universidad de Costa Rica, sede San Pedro, desarrolló la tesis de licenciatura denominada *Evaluación del rendimiento comercial y financiero de híbridos de tomate costarricenses (Solanum lycopersicum L.) para consumo fresco en Santa Ana, San José, Costa Rica*. De la tesis mencionada anteriormente, se utilizan los cálculos de valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR) para hacer el cálculo financiero de este estudio. Se trabaja el valor actual neto (VAN) en términos del valor actual de una suma futura para ingresos y costos basado en la fórmula de abajo:

Fórmula 6. Valor actual

$$VA = \frac{P}{(1+i)^n}$$

Nota: Calderón (2013).

Donde:

VA = Valor actual del dinero.

P = Valor del efectivo a futuro.

i = Es la tasa de interés.

n = Es el número del período en meses, años, etc.

Para el cálculo del valor actual neto, se trabaja con la siguiente fórmula:

Fórmula 7. Valor actual neto

$$VAN = \sum_{t=1}^n \left(\frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \right) - I_0$$

Nota: Calderón (2013).

Donde:

B_t = Ingresos de proyecto en el momento t.

C_t = Costos del proyecto en el momento t.

t = Períodos (semanas, meses, años) correspondientes a la vida útil del proyecto. Varían entre 1 y n .

r = Tasa de descuento.

I_0 = Inversión inicial.

En el caso del cálculo de la tasa interna de retorno, se considera el valor actual de los beneficios y de los costos. La fórmula está dada por:

Fórmula 8. Tasa interna de retorno

$$0 = \sum_{t=0}^n \left(\frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \right)$$

Nota: Calderón (2013).

Donde:

TIR = Es igual a cero.

B_t = Ingresos de proyecto en el momento t .

C_t = Costos del proyecto en el momento t .

t = Períodos (semanas, meses, años) correspondientes a la vida útil del proyecto. Varían entre 1 y n .

r = Tasa de descuento.

Antecedente 3

De La Peña Hamblin (2010), estudiante de la Universidad de Costa Rica, sede San Pedro, realizó la tesis de bachillerato denominado *Ingeniería Eléctrica en el marco del desarrollo sostenible: tendencias y aplicaciones. Parte II*.

Se utiliza el NEC 2008, por sus siglas en inglés que significan National Electric Code, como el código para regular las instalaciones eléctricas y así dimensionar el tipo de tableros eléctricos, conductores, inversores y protecciones de puesta a tierra que se van a utilizar en el diseño de paneles de solares.

El NEC, en el artículo 690, se refiere a los sistemas solares fotovoltaicos; donde se destaca información sobre:

- Módulos fotovoltaicos
 - Etiquetado del módulo
 - Interconexiones del módulo
 - Módulos de seguimientos
 - Terminales
 - Cableado de enlace
- Cableado
 - Conexiones del módulo
 - Accesos a la conexión del módulo
 - Uniones
 - Códigos de colores en conductores
- Protección de falla a tierra
 - Fallas a tierra
 - Desconexión del campo fotovoltaico
- Puesta a tierra
 - Puesta a tierra sistema
 - Tamaño del conductor del electrodo a tierra
 - Punto de conexión
 - Regulador de carga – puesta a tierra
 - Puesta a tierra equipos
 - Salidas alternas del inversor y generador de apoyo
 - Electrodo a tierra
- Ampacidad de conductores
 - Sistemas aislados, inversores
- Protección contra sobrevoltajes
 - Capacidad
 - Circuitos ramales
 - Condiciones de corto circuito

- Fusibles limitadores de corriente en sistemas conectados a la red
- Mantenimiento de fusibles
- Métodos de desconexión
 - Desconectores del campo fotovoltaico
 - Varias fuentes de potencia
- Cuadros armarios y cajas
- Generadores
- Reguladores de carga
- Sistemas de distribución
- Cableado interior y tomas de corriente
 - Cableado múltiple de circuitos ramales.

Antecedente 4

Abella (s.f.a) desarrolló el trabajo *Sistemas Fotovoltaicos*, para el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid. De este documento, se extrae información valiosa con respecto a los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica que funcionan tanto para viviendas convencionales como para sistemas de generación de energía que inyectan toda la producción a la red eléctrica, donde la potencia nominal de las viviendas y los edificios está relacionada con la superficie útil disponible para la instalación del generador fotovoltaico, aproximadamente 8 a 10 m² por kWp.

La información que se tomará en cuenta es sobre los componentes tales como:

- Generador fotovoltaico
- Regulador de carga
- Inversor
- Baterías.

También, se dan a conocer sus aplicaciones tanto en instalaciones aisladas de la red como en instalaciones conectadas a la red eléctrica.

Proyecciones

1. Con este proyecto, se espera obtener mediante la investigación y los cálculos, el diseño eléctrico de una residencia para los servicios generales y especiales tomando como base los requisitos y el cumplimiento de las normas que se listan en el Código Eléctrico Nacional en su edición 2008 (NEC, 2008). Con el seguimiento de la normativa, se pretende asegurar que sea un diseño óptimo y seguro. Se adjuntan los planos de distribución de tomacorrientes, iluminación, salidas especiales y diagrama unifilar, así como la memoria de cálculo con los artículos del NEC (2008) que demuestra el correcto diseño eléctrico.
2. Este diseño también investiga y calcula el dimensionamiento de un sistema de aprovechamiento de agua pluvial con el fin de ahorrar agua y ayudar en la parte ecológica. El dimensionamiento del sistema de captación de agua pluvia se hace basado en los requisitos y las normas de los artículos que se listan en Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica en su edición 2017. También, se determina mediante cálculos matemáticos la potencia de las bombas para riego de jardines, piscina y fuente para asegurarse que el sistema sea el óptimo para dichas actividades.
3. El proyecto busca promover las energías renovables como método para ayudar a minimizar la contaminación del medio ambiente y generar ahorro en cuanto al consumo eléctrico. Para lograr un sistema amigable con el ambiente, se va a dimensionar un sistema fotovoltaico conectado a la red del proveedor; el cual permita aprovechar la energía solar para la generación de energía eléctrica para autoconsumo e inyectar el exceso de energía a la red para usos futuros durante el año. Se adjunta la memoria de cálculo del sistema de paneles solares, así como la cotización para generar un análisis financiero que demuestre la viabilidad del proyecto.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Normativa para instalaciones eléctricas en Costa Rica

Según La Gaceta No. 33 del 15 de febrero de 2012, se oficializa el Código Eléctrico Nacional 2008 (NEC 2008) como normativa para garantizar la seguridad de las personas, los animales y las edificaciones en Costa Rica. El objetivo es mejorar la calidad de las instalaciones eléctricas. Por ende, este trabajo de investigación se basa en dicha normativa. A continuación, se nombran los artículos importantes que se utilizarán en el diseño. RTCR 458:2011 Reglamento de Oficialización del Código Eléctrico de Costa Rica para la Seguridad de la Vida y de la Propiedad.

Artículos del Código Eléctrico Nacional 2008 para diseño de viviendas

El libro de National Fire Protection Association, *NFPA70* (2008), —denominado en español Código Eléctrico Nacional edición 2008, USA— cita los siguientes artículos para el diseño eléctrico.

Artículo 210.11(C)(1). Unidad de vivienda. Circuitos ramales de electrodomésticos pequeños

Además del número de circuitos ramales exigidos en otras partes de esta sección, se deben suministrar dos o más circuitos ramales de 20 amperes para electrodomésticos pequeños, para todas las salidas de receptáculos especificados en la sección 210.52(B) (National Fire Protection Association, 2008, p. 57).

Artículo 210.11(C)(2). Unidad de vivienda. Circuitos ramales para lavandería

Además del número de circuitos ramales exigidos en otras partes de esta sección, se debe suministrar al menos un circuito ramal de 20 amperes para alimentar las salidas de receptáculos de la lavandería que se exigen en la sección 210.52(F). Este circuito no debe tener otras salidas (National Fire Protection Association, 2008, p. 57).

Artículo 210.11(C)(3). Unidad de vivienda. Circuitos ramales para cuartos de baños

Además del número de circuitos ramales exigidos en otras partes de esta sección, se debe suministrar al menos un circuito ramal de 20 amperes o 1500 voltamperios para alimentar las salidas de receptáculos del cuarto de baño. Estos circuitos no deben tener otras salidas.

Excepción: Cuando un circuito de 20 amperes alimenta a un solo cuarto de baño, se permitirá que las salidas para otros equipos dentro del mismo cuarto de baño sean alimentadas de acuerdo con las secciones 210.23(A)(1) y (A)(2) (National Fire Protection Association, 2008, p. 57).

Artículo 210.19(A)(1). Circuitos ramales de no más de 600 voltios

NLM No. 4: Los conductores para circuitos ramales como están definidos en el artículo 100, dimensionados para evitar una caída de tensión superior al 3% en las salidas más lejanas de las cargas de fuerza, calefacción, alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída máxima de tensión de los circuitos alimentador y ramal hasta la salida más lejano no supere el 5%, ofrecerán una eficiencia de funcionamiento razonable. Para la caída de tensión en los conductores de alimentador, véase la NLM No. 2 de la sección 215.2(A)(3) (National Fire Protection Association, 2008, p. 58).

Fórmula 9. Cálculo de caída de tensión

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

Nota: Ruelas (2012, p. 1).

Fórmula 10. Porcentaje de caída de tensión

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

Nota: Ruelas (2012, p. 1).

Donde:

ΔV = Caída de tensión.

$\Delta V\%$ = Porcentaje de caída de tensión.

R = Resistividad del conductor en Ohmios por metro (Ω/km).

I = Corriente monofásica del conductor en amperios (A).

L = Distancia del conductor en pies (km).

120 o 240 = según el voltaje que ocupe el dispositivo.

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 descritas 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 (National Fire Protection Association, 2008, p. 69).

Figura 1. Cargas de alumbrado general por tipo de ocupación

Tabla 220.12 Cargas de alumbrado general por tipo de ocupación

Tipo de ocupación	Carga unitaria	
	Volt-Ampere por metro cuadrado	Volt-Ampere por pie cuadrado
Cuarteles y auditorios	11	1
Bancos	39 ^a	3½ ^b
Barberías y salones de belleza	33	3
Iglesias	11	1
Clubes	22	2
Juzgados	22	2
Unidades de vivienda ^a	33	3
Garajes comerciales (almacenamiento)	6	½
Hospitales	22	2
Hoteles y moteles, incluidos apartamentos sin cocina para los inquilinos ^a	22	2
Edificios industriales y comerciales (áticos)	22	2
Casas de huéspedes	17	1½
Edificios de oficinas	39 ^a	3½ ^b
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

^a Véase la sección 220.14(J)

^b Véase la sección 220.14(K)

Nota: National Fire Protection Association (2008, p. 69).

Artículo 220.14 (J). Otras cargas para todo tipo de ocupaciones. Ocupaciones para viviendas

En viviendas unifamiliares, bifamiliares y multifamiliares y en habitaciones de huéspedes o suites de huéspedes de hoteles y moteles, las salidas especificadas en (J)(1), (J)(2) y (J)(3) están incluidas en los cálculos de carga de alumbrado general de la sección 220.12. No se deben exigir cálculos de carga adicionales para estas salidas.

1. Todas las salidas de receptáculos para uso general de 20 amperes nominales o menos, incluidos los receptáculos conectados a los circuitos, en la sección 210.11(C)(3).
2. Las salidas de receptáculos especificadas en las secciones 210.52(E) y (G).

3. Las salidas de alumbrado especificadas en las secciones 210.70 (A) y (B) (National Fire Protection Association, 2008, p. 70).

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. Esos factores no se deben aplicar para calcular el número de circuitos ramales para iluminación general (NFPA70, 2008).

Figura 2. Factores de demanda para alumbrado de la tabla 220.42

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.

Nota: NFPA70 (2008, p. 71).

Artículo 220.50. 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 (National Fire Protection Association, 2008, p. 71).

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.

Excepción: Se permite excluir de los cálculos exigidos por la sección 220.52, a los circuitos ramales individuales permitidos por la sección 210.52 (B) (1), Excepción No. 2 (National Fire Protection Association, 2008, p. 71).

Artículo 220.52.B. Carga del circuito de lavandería

(B) Carga del circuito de lavandería. Una carga de no menos de 1500 voltamperios 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 (National Fire Protection Association, 2008, p. 71).

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 (National Fire Protection Association, 2008, p. 71).

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 (voltamperios) 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 kilovoltamperios (kVA) se deben considerar equivalentes a los kilowatts (kW) para las cargas calculadas en esta sección (National Fire Protection Association, 2008, pp. 71-72).

Figura 3. Factores de demanda para secadoras de ropa eléctricas

Tabla 220.54 Factores de demanda para secadoras eléctricas domésticas de ropa.

Número de secadoras	Factor de demanda (%)
1-4	100
5	85
6	75
7	65
8	60
9	55
10	50
11	47
12-23	47% menos 1% por cada secadora que exceda el número de 11
24-42	35% menos 0.5% por cada secadora que exceda el número de 23.
43 y más	25%

Nota: National Fire Protection Association (2008, p. 72).

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 $1 \frac{3}{4}$ kW, se calcule de acuerdo con la tabla 220.55. Los kilovoltamperios (kVA) se deben considerar equivalentes a los kilowatts (kW) para las cargas calculadas según esta sección.

Cuando haya dos o más estufas monofásicas nutridas por un alimentador o una acometida trifásica tetrafilar, la carga total se debe calcular entre dos fases cualesquiera (National Fire Protection Association, 2008, p. 72).

Figura 4. Factores de demanda y cargas para estufas

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	

Nota: National Fire Protection Association (2008, p. 73).

Artículo 220.61 Carga del neutro del alimentador o la acometida

(A) Cálculo básico. La carga del neutro del alimentador o de la acometida debe ser el máximo desequilibrio de la carga determinado por este artículo. La carga máxima no equilibrada debe ser la carga neta máxima calculada entre el conductor neutro y cualquier otro conductor no puesto a tierra.

Excepción: Para sistemas bifásicos trifilares o bifásicos pentafileares, la carga máxima no equilibrada debe ser la carga neta máxima calculada entre el conductor neutro y cualquier otro conductor no puesto a tierra multiplicada por 140%.

(B) Reducciones permitidas. Se permitirá que una acometida o un alimentador nutra las siguientes cargas y que tenga un factor de demanda adicional de 70%, el cual se aplica a la cantidad indicada en 220.61(B)(1) o a una parte de la cantidad indicada en 220.61(B)(2) determinada según el cálculo básico.

1. Para un alimentador o acometida que alimente estufas eléctricas domésticas, hornos de pared, parillas de mesón y secadoras eléctricas, cuando la carga máxima no equilibrada se ha determinado según la tabla 220.55 para estufas y la tabla 220.54 para secadoras
2. Aquella parte de la carga en desequilibrio supera a 200 amperios cuando la alimentación de la acometida o del alimentador proviene de un sistema c. c. trifilar o c. a. monofásico; o de un sistema trifásico tetrafilar o bifásico trifilar; o de un sistema bifásico pentafilar

(C) Reducciones prohibidas. No debe haber reducción alguna de la capacidad del conductor neutro o del conductor puesto a tierra que se aplique a la cantidad indicada en 220.61(C)(1) o a parte de la cantidad señalada en (C)(2), con respecto a la determinada mediante el cálculo básico:

1. Ninguna parte de un circuito trifilar que conste de 2 conductores no puestos a tierra y el conductor neutro de un sistema trifásico tetrafilar conectado en estrella
2. Aquella parte que conste de cargas no lineales alimentadas por un sistema trifásico tetrafilar conectado en estrella (NFPA70, 2008, pp. 72-74).

Artículo 220.82. Unidades de vivienda

(C) Cargas de calefacción y aire acondicionado. Se deber incluir la mayor de las seis posibilidades siguientes carga en kilovoltio-amperio (kVA).

(1) 100% los valores nominales de la placa de características del aire acondicionado y la refrigeración (National Fire Protection Association, 2008, p. 74).

Artículo 240.6 Valores en amperios nominales normalizados

(A) Fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo. Los valores en amperios nominales normalizados de los fusibles e interruptores automáticos de circuito de tiempo inverso son: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000 amperes. Los

valores en amperes nominales normalizados adicionales para fusibles deben ser de 1, 3, 6, 10 y 601. Se permitirá el uso de fusibles e interruptores automáticos de tiempo inverso con valores nominales en amperes no normalizados

(B) Interruptores automáticos de disparo ajustable. La capacidad nominal de corriente de los interruptores automáticos de disparo ajustable que tenga medios externos para regular el ajuste de la corriente (ajuste de tiempo largo) que no cumplan los requisitos de la sección 240.6(C), debe ser el valor máximo posible de ajuste

(C) Interruptores automáticos de disparo ajustable y acceso restringido. Se permitirá que un interruptor automático con acceso restringido al medio de ajuste tenga unos valores nominales en amperios que sean iguales a la posición de corriente ajustada (ajuste de tiempo largo). El acceso restringido se debe definir como la ubicación bajo de alguno de los siguientes:

1. Cubiertas removibles y sellables sobre el medio de ajuste
2. Puertas atornilladas del envolvente del equipo
3. Puertas con cerradura, accesibles solamente a personal calificado (National Fire Protection Association, 2008, p. 98).

Artículo 250.66. Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra de corriente alterna

El calibre del conductor de electrodo de puesta a tierra en la acometida, en cada edificio o estructura alimentada por alimentadores o circuitos ramales, o en un sistema derivado separadamente de un sistema de c. a. puesto a tierra o no, no deber ser inferior al dado en la tabla 250.66, excepto como se permite en las secciones 250.66(A) hasta (C).

(A) Conexiones a los electrodos de varilla, tubo o placa. Cuando el conductor del electrodo de puesta a tierra está conectado a electrodos de varilla, tubo, o placa, como se permite en la sección 250. (A)(5) o (A)(7), no exigirá que la porción del conductor que es la única conexión al electrodo de puesta a tierra sea superior al 6 AWG si es alambre de cobre o al 4 AWG si es alambre de aluminio

(B) Conexiones a electrodos encerrados en concreto. Cuando un conductor del electrodo de puesta a tierra esté conectado a un electrodo encerrado en concreto, como se permite en la sección

250 (A)(3), no se exigirá que la porción del conductor que es la única conexión al electrodo de puesta a tierra sea superior al 4 AWG de alambre de cobre

(C) Conexiones a anillos de puesta a tierra. Cuando un conductor de un electrodo de puesta a tierra está conectado a un anillo de puesta a tierra, como se permite en la sección 250.52 (A)(4), no se exigirá que la porción de conductor que es la única conexión al electrodo de puesta a tierra sea mayor que el conductor usado para el anillo de puesta a tierra (National Fire Protection Association, 2008, pp. 124-125).

Figura 5. Calibre del conductor de puesta a tierra

Tabla 250.66 Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas de corriente alterna

Calibre del mayor conductor no puesto a tierra de entrada de la acometida, o área equivalente para conductores en paralelo* (AWG/kcmil)		Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra (AWG/kcmil)	
Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre ^b
2 o menor	1/0 o menor	8	6
1 ó 1/0	2/0 ó 3/0	6	4
2/0 ó 3/0	4/0 ó 250	4	2
Más de 3/0 hasta 350	Más de 250 hasta 500	2	1/0
Más de 350 hasta 600	Más de 500 hasta 900	1/0	3/0
Más de 600 hasta 1 100	Más de 900 hasta 1 750	2/0	4/0
Más de 1 100	Más de 1 750	3/0	250

Nota: National Fire Protection Association (2008, p. 125).

Notas:

1. Cuando se usan conjuntos múltiples de conductores para la entrada de la acometida como se permite en la sección 230.40, Excepción No. 2, el calibre equivalente del conductor

más grande de entrada de la acometida se debe determinar por la mayor suma de las áreas de los conductores correspondientes

2. Cuando no hay conductores de entrada de la acometida, el calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra se debe determinar por el calibre equivalente del mayor conductor de entrada de la acometida exigido para la carga que se va a alimentar
 - a) Esta tabla también se aplica a los conductores derivados de sistemas de c. a. derivados separadamente
 - b) Véanse las restricciones de la instalación, en la sección 250.64(A) (National Fire Protection Association, 2008, p. 125).

Artículo 430.24. Varios motores o unos motores y otras cargas

Los conductores que alimentan varios motores o unos motores y otras cargas deben tener una ampacidad como mínimo del 125% de la corriente nominal de plena carga del motor con el valor nominal más alto, más la suma de las corrientes nominales de plena carga de todos los otros motores del grupo, tal como se determina en la sección 430.6 (A), más la ampacidad exigida para las cargas (National Fire Protection Association, 2008, p. 351)

Artículo 430.25. Equipos de varios motores y cargas combinadas

La ampacidad de los conductores que alimentan equipos de varios motores y de cargas combinadas no debe ser inferior a la ampacidad mínima del circuito marcada en el equipo, de acuerdo con la sección 430.7 (D). Cuando el equipo esté alambrado en fábrica y las placas individuales de características queden visibles de acuerdo con la sección 430.7 (D)(2), la ampacidad de los conductores se debe determinar de acuerdo con la sección 430.24 (National Fire Protection Association, 2008, pp. 351-352).

Artículo 430.26. Factor de demanda del alimentador

Cuando se reduzca el calentamiento de los conductores como resultado de la operación en servicio intermitente o porque no todos los motores funcionan al mismo tiempo, la autoridad con jurisdicción puede otorgar permiso para que los conductores de alimentador tengan una ampacidad inferior a la especificada en la sección 430.24, siempre que los conductores tengan una ampacidad suficiente para la carga máxima determinada de acuerdo con el tamaño y número

de los motores alimentados y con las características de sus cargas y ciclos de servicio (National Fire Protection Association, 2008, p. 452).

Artículo 310.16. Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones nominales de 0 a 2000 voltios y 60 grados Celsius a 90 grados Celsius (140 grados Fahrenheit a 194 grados Fahrenheit). No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (enterrados directamente), basados en una temperatura ambiente de 30 grados Celsius (86 grados Fahrenheit)

Figura 6. Ampacidades 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

Nota: National Fire Protection Association (2008, p. 172).

Método de lúmenes

Es un procedimiento matemático que se utiliza para calcular la cantidad de luminarias que se necesitan en una determinada área y evaluar si el nivel de iluminancia es la correcta para dicho lugar. Las ecuaciones toman en cuenta el flujo luminoso, la intensidad luminosa, la luminancia y ambiente limpio o sucio (Castilla, Blanca, Martínez y Pastor, 1995, p. 2).

Procedimiento.

1. Calcular el flujo total luminoso
2. Calcular la cantidad de luminarias
3. Establecer la distribución de las luminarias.

Cálculo de flujo total luminoso.

El flujo luminoso es la potencia que genera una lámpara o dispositivo generador de luz en forma de radiación luminosa y que puede ser percibida por las personas.

Fórmula 11. Flujo luminoso para una zona determinada

$$Q_t = \frac{E_m * S}{C_u * C_m}$$

Nota: Castilla et al. (1995, p. 3).

Donde:

Q_t = Flujo luminoso para una zona determinada (lúmenes).

E_m = Nivel de iluminación medio (lux).

S = Superficie a iluminar (m^2).

C_u = Coeficiente de utilización.

C_m = Coeficiente de mantenimiento, que es el grado de conservación de la luminaria.

Nivel de iluminación.

Es medida en luxes y es la intensidad de iluminación y su equivalencia es un lumen por metro cuadrado (Castilla et al. 1995, p. 2)

Coefficiente de utilización.

Es la relación que hay entre el número de lúmenes emitidos por la lámpara y los que llegan a la superficie que se quiere iluminar. Estos datos son dados por los fabricantes (Castilla et al. 1995, p. 3).

Coefficiente de mantenimiento.

Este dato hace referencia a cómo afecta la suciedad o el grado de limpieza el flujo que emiten las lámparas. Básicamente es un factor que se basa en si un ambiente es limpio o sucio (Castilla et al. 1995, p. 3).

Tabla 1. Coeficiente de mantenimiento

Ambiente	Coeficiente de mantenimiento C_m
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Nota: Castilla et al. (1995, p. 4).

Cálculo del número de luminarias.

La cantidad de luminarias que se necesitan va a depender del flujo luminoso que se requiere en el recinto, el flujo luminoso que pueda dar cada lámpara y la cantidad de lámparas en la luminaria.

Fórmula 12. Número de luminarias

$$N_l = \frac{Q_t}{n * Q_l}$$

Nota: Castilla et al. (1995, p. 4).

Donde:

N_l = Número de luminarias, este valor se redondea por exceso.

Q_t = Flujo luminoso total necesario para la zona determinada.

n = Número de lámparas que tiene la luminaria.

Q_l = Flujo luminoso de una lámpara.

Establecer la distribución de las luminarias.

Dependiendo del recinto, es necesario que la colocación de las luminarias sea lo más simétrica posible para que se pueda iluminar toda el área adecuadamente. En lugares con áreas rectangulares, se pueden aplicar las siguientes fórmulas para determinar la distancia.

Fórmula 13. Número de filas a lo ancho de la zona a iluminar

$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{total}}{b}} * a$$

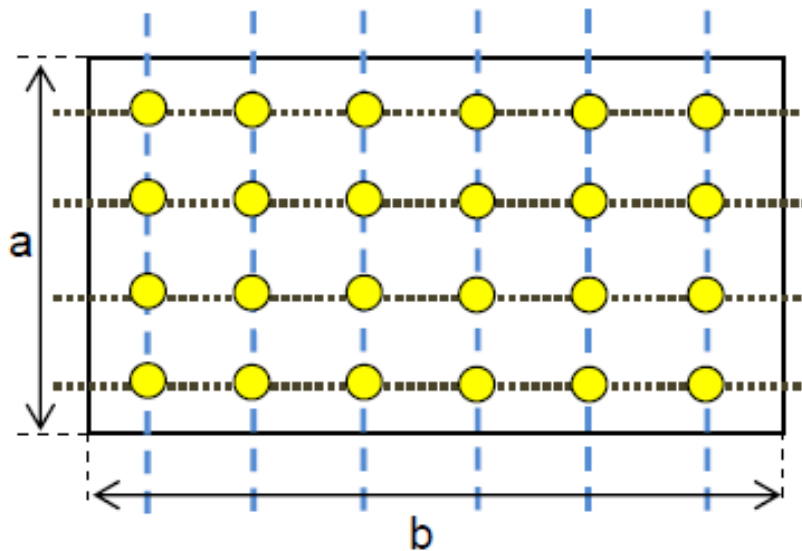
Nota: Castilla et al. (1995, p. 8).

Fórmula 14. Número de columnas a lo largo de la zona a iluminar

$$N_{largo} = N_{ancho} * \left(\frac{b}{a}\right)$$

Nota: Castilla et al. (1995, p. 8).

Figura 7. Distribución de las luminarias



Nota: Castilla et al. (1995, p. 8).

Norma INTECO INTE 31-08-06-2000

Esta norma sugiere los niveles y los requerimientos de iluminación para diferentes recintos de manera que minimice riesgos o daños a la salud durante las actividades diarias. Para servicios de vivienda, se recomiendan los valores medidos en luxes de la figura 8 para viviendas. Estos datos son los que se van a usar para el cálculo de lúmenes (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, 2000).

Figura 8. Valores recomendados de iluminación

Tipo de edificio, local y tarea visual	Valor mínimo de servicio de iluminación (lux)
Vivienda ¹⁵	
Baño:	
Iluminación general	100
Iluminación localizada sobre espejos	200 ¹⁶
Cocina:	
Iluminación sobre la zona de trabajo: cocina, pileta, mesada	200
Dormitorios:	
Iluminación general	200
Iluminación localizada: cama, espejo	200 ²

¹³ Iluminación localizada sobre el plano de trabajo (chasis del vehículo)

¹⁴ Esta iluminación debe ser igual tanto el plano horizontal como en el vertical

¹⁵ Los valores que se dan son recomendados

¹⁶ Iluminación sobre plano vertical

Nota: Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (2000, p. 14).

Conceptos generales sobre diseño eléctrico

Puesta a tierra.

Es un sistema que se instala en edificios, estructuras metálicas, maquinaria, sistemas o aparatos eléctricos y mecánicos con el fin de proteger a las personas y los animales contra una falla eléctrica. Se conectan una o varias tomas de tierra y sus conductores a un borne o varilla principal, que se encuentra empotrada en la tierra con una resistencia lo más baja posible (Puesta a tierra, 2018).

Interruptor automático.

Son dispositivos mecánicos que se instalan en los diferentes circuitos para proteger los equipos eléctricos contra cortocircuitos y sobrecargas en el sistema. Estos dispositivos abren y cierran el

circuito de forma manual o bien por medio automático cuando se supera el límite de corriente tanto corriente directa como corriente alterna según su aplicación (Interruptor automático, 2018).

Entre los interruptores automáticos más conocidos, se encuentran:

1. Magnetotérmicos: Este dispositivo funciona basado en el efecto magnético y térmico que genera el paso de corriente por este. La parte magnética protege contra cortocircuitos y la parte térmica contra sobretensiones (Interruptor magnetotérmico, 2018).
2. Magnéticos: Este dispositivo utiliza un electroimán que abre el circuito cuando ocurre un corto circuito, pero no una sobrecarga de tensión (Interruptores magnéticos, 2018).
3. Térmicos: Este dispositivo se abre automáticamente cuando la corriente supera los límites y calienta el dispositivo, también detecta fallas de sobrecarga (Interruptores térmicos, 2018).
4. Guardamotor: Se usa para proteger motores eléctricos, tiene una curva de disparo mayor para soportar la corriente de arranque del motor (Guardamotor, 2018).

Corriente de cortocircuito.

Es una falla eléctrica que ocurre cuando dos puntos entre sí con un diferencial de potencial, que en este caso sería un conductor activo o fase y un conductor neutro o tierra, se ponen en contacto. Esto produce corrientes elevadas en circuitos de baja impedancia que conllevan al fallo eléctrico, estas corrientes son mucho mayores a la corriente nominal o la corriente de carga.

Entre las causas más comunes están:

1. Perforación del aislamiento que recubre los conductores, ya sea por deterioro o calentamiento.
2. Factores mecánicos que hayan producido una ruptura en los conductores y los aislantes.
3. Sobretensiones debido a equipos en la línea que lo hayan provocado, descargas eléctricas o mal diseño eléctrico.

4. Factores humanos como la mala manipulación de equipos, instalaciones eléctricas o no tener buenas prácticas durante la sustitución de equipos, cableado y accesorios eléctricos (Ferro, 2015, pp. 4-5).

Falla a tierra.

Este fenómeno se da cuando una fase se pone en contacto físico con el potencial a tierra o cualquier estructura u objeto que tengan un potencial de cero voltios. Este diferencial de potencial entre la fase y la tierra produce la falla (General Electric, s.f.).

Conductores eléctricos y aislamientos.

Los conductores eléctricos son materiales que permiten el paso de los electrones a través de ellos. Estos son hechos de diferentes metales y aleaciones dependiendo de la aplicación y el factor económico. Mientras tanto los aislantes son materiales que no permiten el paso libre de los electrones a través de ellos, por ende, los aislantes recubren los conductores para evitar que puedan provocar un cortocircuito o electrocutar a una persona o un animal (Masvoltaje, 2016).

Partes de un cable eléctrico.

1. Conductor: Es el material o parte metálica que permite el paso de electrones, puede estar construido por diferentes tipos de materiales como cobre, aluminio, entre otros. Puede ser de uno, dos o mucho más hilo y de diferentes calibres según su aplicación.
2. Aislamiento: Es el material que recubre el conductor para evitar cortos circuitos y electrocuciones.
3. Capa de relleno: Esta se encuentra entre el conductor y el aislamiento. La capa de relleno da forma circular al cable.
4. Cubierta: Es una capa protectora, este protege el cable contra rupturas, golpes y cualquier factor externo (Masvoltaje, 2016).

Tipos de conductores eléctricos.

1. Conductor de alambre desnudo: Este conductor es aquel que no está cubierto por un aislante, usualmente se utilizan en exteriores para sistemas de puesta a tierra o sistemas de alta tensión, puede ser de uno o varios hilos conductores

2. Conductor de alambre aislado: Este conductor está cubierto por un material aislante que permite que el conductor no haga contacto con otros conductores, personas, estructuras metálicas, etc. Este conductor puede ser de uno o varios hilos y usualmente se utiliza en interiores
3. Conductor flexible: Es un conductor que está formado por varios hilos conductores finos que son los que permiten dicha flexibilidad, también está cubierto por un aislante y usualmente se utiliza en interiores para conectar dispositivos eléctricos a los tomacorrientes
4. Conductor de cordón: Es el conjunto de varios conductores flexibles que a su vez se juntan y se recubren con otro material aislante (Masvoltaje, 2016).

Tipos de aislamientos de cables eléctricos.

Los conductores, dependiendo de su aplicación, pueden estar cubiertos por un aislante hecho de diferentes materiales que van a permitir que soporten ciertas condiciones como la temperatura, el calor, la resistencia a golpes, la humedad, el ambiente, entre otros factores. Existen códigos de abreviaturas que describen el tipo de cable basado en sus características, estas siglas se usan en inglés.

- T (*Thermoplastic*): Aislamiento termoplástico, este lo tienen todos los cables
- H (*Heat resistant*): Resistente al calor hasta 75° centígrados Celsius (167° F)
- HH (*Heat resistant*): Resistente al calor hasta 90° centígrados Celsius (194° F)
- W (*Water resistant*): Resistente al agua y a la humedad
- LS (*Low smoke*): Este cable tiene baja emisión de humos y bajo contenido de gases contaminantes
- SPT (*Service parallel thermoplastic*): Esta nomenclatura se usa para identificar un cordón que se compone de dos cables flexibles y paralelos con aislamiento de plástico y que están unidos entre sí. También se denomina cordón dúplex (Masvoltaje, 2016).

Conceptos básicos sobre sistemas fotovoltaicos

Aspectos generales sobre la energía foto voltaica.

El efecto fotovoltaico se dio a conocer en 1839 por el físico francés Alexandre Edmond Becquerel; sin embargo, la primera célula solar se fabricó hasta 1883 por el inventor estadounidense Charles Fritts (Energía solar, 2018).

La energía solar es una fuente de energía ilimitada la cual puede ser aprovechada para producir energía solar fotovoltaica, este tipo de energía es renovable y considerada una fuente de energía limpia debido que no genera contaminación durante su funcionamiento. La energía se obtiene de la radiación solar mediante los sistemas con células fotovoltaicas o células solares de película fina y consiste en convertir la radiación del sol en energía eléctrica (Energía solar, 2018).

Es importante tomar en cuenta que la principal fuente para la producción de energía eléctrica en los sistemas fotovoltaicos es la energía solar; por lo tanto, es indispensable que la célula se encuentre perpendicular al sol. Si es necesario se pueden instalar seguidores solares para maximizar la producción de energía. Es importante conocer que las condiciones meteorológicas como la falta de sol, nubosidad, suciedad, periodos de sombra, etc., pueden limitar la cantidad de energía que se puede generar (Energía solar, 2018).

Sistemas fotovoltaicos.

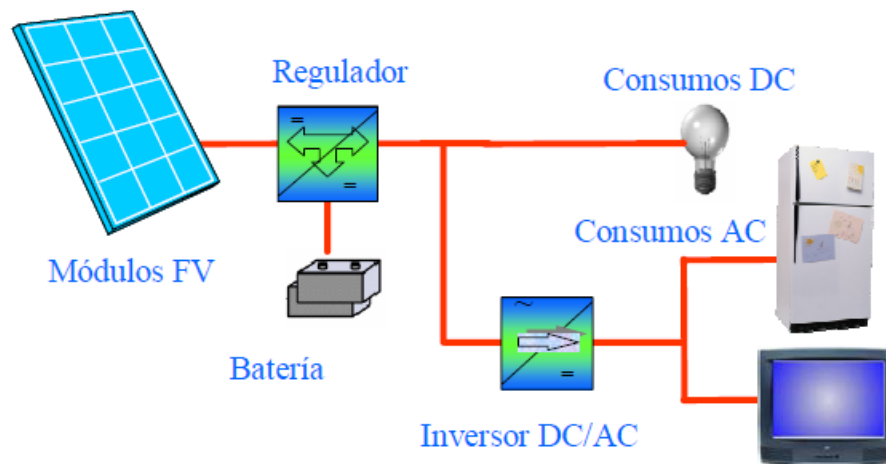
El sistema fotovoltaico tiene una amplia aplicación tanto en la industria como en el sector doméstico. En cualquier lugar donde se necesite la generación de electricidad, se pueden utilizar los sistemas fotovoltaicos para los que no disponen de red eléctrica que comúnmente se le conocen como sistemas fotovoltaicos autónomos y están aislados de la red o los sistemas que se usan para generar energía e inyectarla a la red eléctrica; a estos sistemas se les conoce como sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (Abella, s.f.b, p. 3).

Como bien es sabido, los sistemas fotovoltaicos solamente pueden generar electricidad cuando reciben luz solar y dicha generación es proporcional a la irradiación solar capturada por la superficie. Dependiendo de la aplicación, podría ser necesario o suministrar electricidad a la red para después bajarla cuando sea necesario o podría ser necesario incluir un banco de baterías en el diseño a implementar (Abella, s.f.b, p. 3).

Los sistemas fotovoltaicos se conforman por cuatro dispositivos:

1. Generador fotovoltaico
2. Batería de acumulación
3. Regulador de carga
4. Inversor.

Figura 9. Modelo básico de un sistema fotovoltaico



Nota: Abella (s.f.b, p. 4).

Generador fotovoltaico.

Es el encargado de convertir la energía que transportan los fotones de luz en electricidad por medio de materiales semiconductores tipo “N” o bien pueden ser tipo “P”.

- Semiconductor tipo “P”: Silicio (4 electrones de enlace) dopado con aluminio (3 electrones de enlace)
- Semiconductor tipo “N”: Silicio (4 electrones de enlace) dopado con antimonio (5 electrones de enlace).

Cuando se hacen uniones de estos semiconductores, se genera el efecto fotovoltaico al estar en contacto con la incidencia de luz. Cuando los electrones del semiconductor tipo “N” se transfieren al semiconductor tipo “P”, este último semiconductor se va a cargar negativamente mientras el semiconductor tipo “N” se va a cargar positivamente. Esto va a crear una barrera de potencial que no dejará pasar los electrones. Cuando la energía solar incide, los fotones

transmiten energía a los electrones del semiconductor, obligando a los electrones a atravesar la barrera de potencial y a su vez a moverse a través de un circuito que genera la corriente eléctrica y repite continuamente (Progclass, s.f., p. 1).

Figura 10. Semiconductor de la unión P-N



Nota: CERTIFICADOS ENERGÉTICOS (s.f.).

Baterías de acumulación.

Los materiales semiconductores transforman la energía solar en energía eléctrica, pero no almacena dicha producción, para esto es necesario un banco de baterías o conectarlo a la red eléctrica para posteriormente bajar la energía necesaria cuando se requiera. Las aplicaciones en donde se puede aplicar los sistemas fotovoltaicos varían y en muchos de los casos donde se necesita generar durante el día y usar la energía durante la noche como en el caso de un sistema de iluminación fotovoltaico, las baterías se cargan y descargan cíclicamente. Para controlar los procesos de carga y descarga, se utilizan los reguladores de carga (Abella, s.f.b, p. 10).

Regulador de carga.

Este dispositivo es el responsable de proteger la batería contra sobrecargas o contra sobredescargas excesivas que puedan dañar los equipos de consumo o bien las mismas baterías. El funcionamiento es bastante sencillo, cuando el regulador de carga detecta que las baterías están siendo sobrecargadas desconecta los módulos fotovoltaicos; sin embargo, cuando el regulador detecta una sobredescarga, esta desconecta los consumos (Abella, s.f.b, p. 28)

Inversor DC/AC.

Los sistemas fotovoltaicos generan electricidad en forma de corriente continua que se puede almacenar de forma directa en bancos de baterías; no obstante, cuando se necesita utilizar esa corriente en los dispositivos, la mayoría de las veces estos dispositivos trabajan con corriente alterna, de igual manera cuando la corriente se inyecta a la red del proveedor de servicios se debe inyectar corriente alterna en lugar de corriente continua. Es en este momento cuando entra en función el inversor convirtiendo la señal o corriente eléctrica directa en corriente eléctrica alterna con una magnitud y frecuencia deseada para ser utilizada en los hogares e industrias por los diferentes dispositivos. En cuanto a sistemas fotovoltaicos, hay dos sistemas muy utilizados como son los inversores centrales y los microinversores (Abella, s.f.b, p. 39).

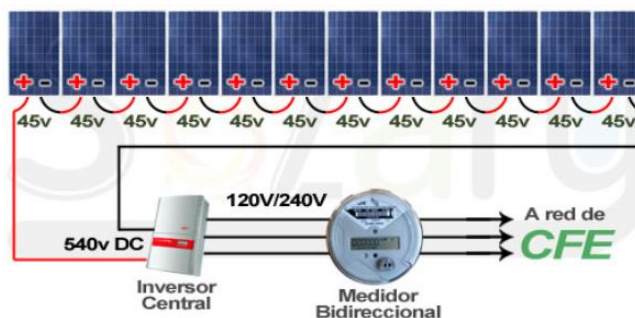
Sistema fotovoltaico con inversor central.

Todos los paneles solares se conectan entre sí formando un circuito en serie. Si es necesario se pueden hacer varios circuitos de sistemas fotovoltaicos; al final de cada circuito, se coloca un inversor central que va a ser el encargado de convertir la corriente directa en corriente alterna.

El hecho de que solamente se utilice un inversor permite que este sistema sea más económico; sin embargo, lo hace un poco más complicado cuando se trata de identificar posibles problemas con respecto a la generación eléctrica o el fallo de un panel solar.

El inversor central tiene la particularidad de que está limitado a procesar la corriente del panel que menos electricidad produzca. Si un panel se daña, o produce menos corriente debido a sombras, polvo, basura, entre otros, este limita la corriente del resto de los paneles.

Figura 11. Sistema fotovoltaico en serie con inversor central

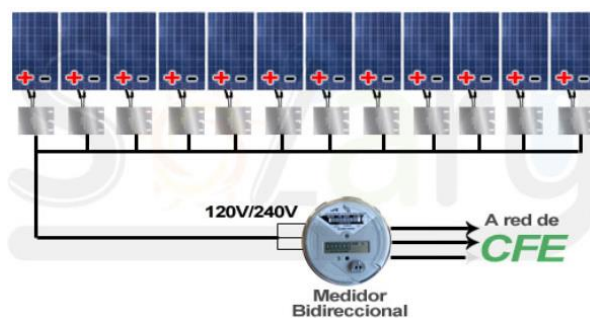


Nota: Solary (s.f.).

Sistema fotovoltaico con microinversor.

En este sistema, los paneles se conectan en un sistema en paralelo. Cada panel solar tiene un microinversor que va a ser el encargado de convertir la corriente directa en alterna. Los microinversores hacen este sistema un poco más costoso debido a que cada panel va a requerir de un dispositivo inversor; sin embargo, tiene la facilidad de que si un panel falla los demás continúan trabajando en su máximo desempeño, de igual manera si un panel se ve afectado por sombras, polvo o basura. Otro de los beneficios de los microinversores es la facilidad que tienen para detectar posibles problemas en el circuito.

Figura 12. Sistema fotovoltaico en paralelo con microinversores



Nota: Guía comparativa inversor vs. microinversor de Solary.

Radiación solar.

Las radiaciones solares son emitidas por una estrella llamada sol, la cual emite ondas electromagnéticas que se propagan a través del espacio transportando energía. Existen diversos elementos que afectan la radiación, entre ellos:

1. Latitud del lugar
2. Tipo de superficie
3. Cantidad de cielo cubierto de nubes
4. Contenido de vapor de agua y de aerosoles de la atmósfera
5. Día del año (posición de la órbita terrestre).

Existen estudios de radiación solar que ayudan a mostrar una tendencia o bien un aproximado de los valores de radiación solar que también se le llaman horas solar pico (hsp). Uno de los

estudios realizado por el Instituto Costarricense de Electricidad a cargo del consultor M.Sc. Jaime Wright Gilmore, brinda esta información para diferentes sectores de Costa Rica.

A continuación, se presenta parte de la tabla que muestra los valores diarios medios anuales de la radiación solar por distritos en Costa Rica. Dicha tabla forma parte del estudio de potencial solar en Costa Rica realizado por el Instituto Costarricense de Electricidad a cargo del consultor M.Sc. Jaime Wright (2006).

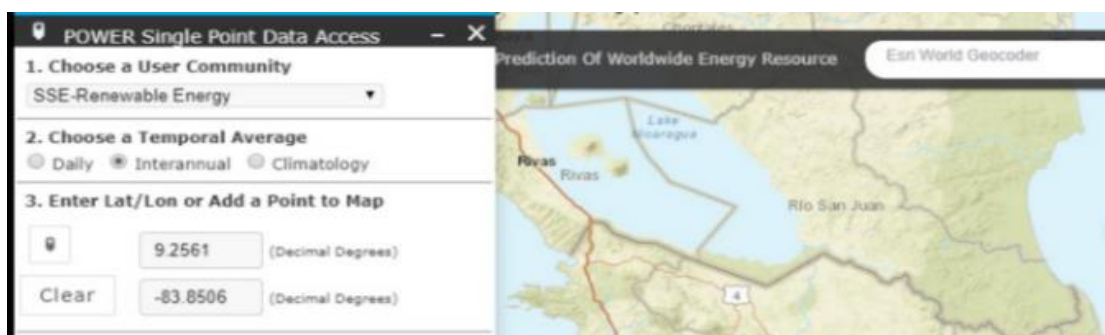
Figura 13. Extracto de los valores medios de radiación solar en Costa Rica

Distrito	Cantón	Provincia	Población	Area (Km ²)	Longitud (W)	Latitud (N)	Radiación global (MJ/m ² .día)	Potencial (EJ/año)
UNION	MONTES DE ORO	PUNTARENAS	1559	78,71	-84,68914	10,21019	7,5	0,215
MIRAMAR	MONTES DE ORO	PUNTARENAS	7418	110,81	-84,73966	10,11096	7,8	0,315
CHOMES	PUNTARENAS	PUNTARENAS	4476	119,79	-84,92654	10,10117	15,0	0,656
ESPIRITU SANTO	ESPARZA	PUNTARENAS	16894	42,30	-84,69860	9,96891	12,0	0,185
SAN JUAN GRANDE	ESPARZA	PUNTARENAS	3919	58,16	-84,68018	9,92923	13,0	0,276
JACO	GARABITO	PUNTARENAS	8091	140,31	-84,60675	9,62253	15,5	0,794
LIMONCITO	COTO BRUS	PUNTARENAS	3435	124,04	-83,04902	8,85338	15,3	0,693

Nota: Gilmore Wright (2006, p. 52).

Otra manera de obtener los valores de radiación es por medio de una herramienta gratuita que ofrece la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, más conocida como NASA. Esta base de datos se llama POWER Surface Meteorology and Solar Energy (SSE) - NASA. Donde se utilizan las coordenadas del lugar para obtener los datos, solamente se deben colocar longitud y latitud del lugar.

Figura 14. Herramienta de la NASA para irradiación solar



Nota: National Aeronautics and Space Administration (2018).

Dimensionamiento de los paneles solares.

Cuando se dimensiona un sistema de paneles solares es indispensable tomar en cuenta todos los factores que influyen en la generación eléctrica tales como inclinación de los paneles, incidencia del sol, proyecciones de sombra sobre los paneles, polvo, eficiencia, caídas de voltaje, cantidad de paneles solares, potencia máxima que generan, arreglo de paneles y demás. Para esto, a continuación, se mencionarán varios conceptos que se van a utilizar y sus fórmulas.

Hora solar pico.

Es la manera como se mide la cantidad de irradiación solar, es una unidad de energía por unidad de superficie. Esto se usa para dimensionar sistemas fotovoltaicos y se usa como una constante de 3.6 MJ/m^2 (Hora solar pico, 2018).

Ángulo de inclinación de los paneles.

Cuando se va a instalar un sistema fotovoltaico, el ángulo de inclinación juega un papel muy importante, puesto que cuanto más perpendicular los rayos de sol incidan sobre el panel solar, mejor va a ser su producción. Hay muchos factores que influyen en el ángulo de inclinación tales como la latitud del lugar donde se van a instalar, la radiación solar incidente, sombras que puedan afectar el desempeño de los paneles, inclinación de los techos e incluso la época del año, puesto que el sol no siempre sigue el mismo patrón de movimiento durante todo el año y, por ende, la incidencia de los rayos solares no siempre es la misma.

Existen métodos para obtener el mayor rendimiento en cuanto a la incidencia de la radiación solar; entre ellos, se encuentra una instalación óptima con un ángulo adecuado, para lo cual existen fórmulas, tablas y *software* especializados. También, se puede utilizar seguidores solares que son dispositivos capaces de orientar el panel solar de manera que los rayos incidan lo más perpendicular posible.

En países que se encuentren en latitudes orientadas en el hemisferio norte por encima del ecuador y del trópico de Cáncer, se recomienda instalar los paneles solares orientados al sur (Grupo Elektra, 2014).

Para el sistema fotovoltaico que se propone en este trabajo, se utilizará el estudio realizado por la Universidad de Costa Rica, donde los resultados de estudios hechos en San José, Costa Rica

arrojaron que la posición óptima es 26 grados de inclinación, con una desviación hacia el este desde el sur de 68 grados (O'neal Coto, 2015).

Cálculo del número de módulos del sistema fotovoltaico.

El cálculo de la cantidad de paneles solares que se deben instalar en cualquier sistema va estrechamente relacionado con la capacidad que deba generar el sistema, las horas de sol, el área geográfica, las condiciones climáticas, época del año, sombras, entre otros factores.

Cuando se calcula la cantidad de paneles, se toma también en cuenta las horas solares pico, la corriente demandada, la eficiencia del sistema y la potencia máxima del panel. Este cálculo está dado por la siguiente fórmula (Loeza Salcedo, Carmona y Tenorio Caselin, 2012, p. 19).

Fórmula 15. Cálculo del número de paneles solares

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Energía requerida}}{\text{Hora solar pico} * \text{Eficiencia del sistema} * \text{Potencia pico del módulo}}$$

Nota: Loeza Salcedo, Carmona y Tenorio Caselin (2012, p. 19).

Cálculo del arreglo de paneles solares.

Los paneles solares se pueden configurar de diferentes formas dependiendo de la aplicación que se quiera utilizar y el dimensionamiento del inversor. Se pueden hacer configuraciones en serie, paralelo o híbridas. Para ello, se cuenta con fórmulas que permiten el correcto dimensionamiento (Loeza Salcedo, Carmona y Tenorio Caselin, 2012, pp. 45-46).

Para el cálculo de las filas que se necesitan en un sistema en serie, se toma la tensión de entrada del inversor y se divide entre la tensión de cada panel.

Fórmula 16. Cálculo de filas en sistema fotovoltaico

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

Nota: Loeza Salcedo, Carmona, & Tenorio Caselin (2012, pp. 45-46).

El cálculo de columnas de un sistema en paralelo está dado por la siguiente fórmula.

Fórmula 17. Cálculo de columnas en sistema fotovoltaico

$$\text{Número de filas en serie} = \frac{I_{inv}}{IM}$$

Nota: Loaeza Salcedo, Carmona, & Tenorio Caselin (2012, pp. 19, 45-46).

Selección del inversor.

El inversor debe ser seleccionado dependiendo de la cantidad de corriente que se quiere generar, también dependiendo de si se desea un inversor central o microinversores. Dentro de las características más importantes a la hora de seleccionar un inversor, se encuentran:

1. Determinar la tensión nominal de entrada, que es básicamente la tensión con la cual se dimensiona el sistema
2. Potencia nominal que presenta el sistema. Se recomienda dimensionar el inversor con una potencia mayor al 20% de la potencia demandada
3. Tensión nominal y frecuencia de salida. Es decir, la señal que se va a obtener una vez que haya salido del inversor
4. Eficiencia del inversor.

Consumos de energía eléctrica.

Para realizar los cálculos de un diseño eléctrico cualquiera que sea, es necesario primero tomar en cuenta la sumatoria de los consumos e inclusive el crecimiento de la empresa, casa o edificio donde se quiera implementar un sistema fotovoltaico. Cuando se habla de diseños eléctricos usando energías renovables, su dimensionamiento va totalmente relacionado con el consumo del edificio.

Hay diferentes parámetros o datos que tener en cuenta para calcular el consumo energético; para saber el consumo eléctrico de la vivienda, edificio o lugar donde se quiere suministrar electricidad mediante energías renovables, se debe primero que nada tomar en cuenta el uso que se le dará incluyendo consumos independientes.

La frecuencia en el uso va de la mano con el diseño y por eso es muy importante tener bien claro este parámetro, pues no es lo mismo diseñar una instalación para generar energía y

almacenarla durante un tiempo determinado y después usarla, que diseñar una instalación para generar energía y usarla de forma continua y diaria.

Otro factor importante es el consumo diario del edificio, vivienda o lugar; este parámetro es básicamente la suma de todos los consumos diarios en vatios por hora. Adicionalmente, es importante tomar en cuenta el consumo punta de la instalación, que es el consumo máximo que se puede llegar a tener en un momento dado durante el tiempo de mayor actividad.

Para instalaciones de edificios ya existentes que tienen tiempo de operar, basta con obtener los recibos mensuales de facturación para obtener el consumo mensual. Cuanto más recibos se tenga, mejor es el cálculo para determinar si la tendencia es estable y similar (Prieto, 2012).

Cuando no se cuentan con recibos de consumos eléctricos previos, se puede recurrir a estudios de consumo como el realizado por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) en el 2012. Esta es una encuesta realizada a diversos sectores socioeconómicos de Costa Rica, tanto para áreas rurales como urbanas, la cual se enfoca en conocer las tendencias, los hábitos y la frecuencia del uso de los diferentes electrodomésticos (Ministerio de Ambiente y Energía [MINAE], 2012, p. 39).

El estudio del MINAE indica que en promedio las familias con nivel socioeconómico popular consumen un aproximado de 168.42 kWh mensuales, el grupo socioeconómico medio-bajo consume cerca de 196.18 kWh mensuales; el grupo socioeconómico medio utiliza alrededor de 318.94 kWh y; el grupo socioeconómico medio-alto, aproximadamente 483,96 kWh al mes (MINAE, 2012 p. 39).

Por otra parte, dos de las empresas proveedoras de electricidad en Costa Rica como lo son la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) indican que la mejor manera de calcular el consumo aproximado de una vivienda cuando no se cuenta con recibos es mediante una fórmula sencilla que toma en cuenta la energía eléctrica que consume un dispositivo en kWh y se multiplica por la cantidad de horas que se usa al día y después por la cantidad de días que tiene el mes. Por ejemplo, mayo tiene 31 días, si se usa un televisor un promedio de 2 horas diarias y el televisor consume un aproximado de 150 watts por

hora (0.15 kWh), el total de electricidad consumida se calcularía de la siguiente manera: 0.15 kWh x 2 horas x 31 días = 9.3 kW por mes (CNFL, 2018).

Fórmula 18. Cálculo de consumo

$$\text{Consumo} = \text{Potencia (kWh)} \times \text{tiempo (h)}$$

Nota: ICE (s.f.).

Incluso los proveedores brindan información de cuántas horas se utilizan algunos electrodomésticos por mes, el consumo aproximado de en kWh de dichos artefactos y hasta una calculadora en línea. Para calcular los consumos según la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), se utiliza la calculadora descrita abajo y los consumos aproximados.

Figura 15. Calculadora de consumos

Aparato	Cantidad	Watts	KW	Horas al día	Días al mes	kWh
Televvisor	1	150W	0.15Kw	2	31	9.299999999999999

Nota: CNFL (2018).

Figura 16. Ficha de potencia eléctrica según CNFL

Ficha de potencias eléctricas

A continuación se muestran **valores promedio** de potencia eléctrica para los electrodomésticos de mayor uso en los hogares.

Cocina			Electrodomésticos		Cuarto de lavado	
Disco sellado			Hornito	1200 W	Lavadora	
Pequeño	Mediano	Grande	Horno de microondas	1500 W	Semiautomática	700 W
1000 W	1500 W	1800 W	Plantilla (1 disco)	1000 W	Automática	1200 W
Disco espiral			Olla arrocera	800 W	Secadora de ropa	5000 W
Pequeño	Mediano	Grande	Olla de cocimiento lento	300 W	Plancha	1100 W
1200 W	1800 W	2200 W	Sartén eléctrico	1200 W		
Vitro cerámica			Coffee Maker	1100 W		
Pequeño	Mediano	Grande	Licudadora	350 W		
1200 W	2200 W	2800 W	Picatodo	160 W		
Plantilla de Inducción			Batidora	170 W	Calentar agua	
4 discos	2 discos	1 disco			Calentador	9000 W
6800 W	1800 W	1500 W			Termoducha	
					Posición tibia	4000 W
					Posición caliente	5400 W
					Tanque	3000 W
Horno			Entretenimiento			
Arriba	Abajo	Ambos	Televisor	150 W		
1200 W	1800 W	3500 W	Equipo de sonido	150 W		
			Teatro en casa	180 W		
			DVD	150 W		
			Juego de video	90 W		

Nota: CNFL (s.f.).

Para calcular los consumos según el ICE, se utiliza el mismo método y la compañía en su sitio web ofrece un documento que guía paso a paso sobre cómo obtener el consumo mensual aproximado según la potencia del electrodoméstico y las horas de uso de dicho dispositivo.

Figura 17. Ficha de potencia eléctrica según ICE

ELECTRODOMÉSTICOS			
Artículo	Potencia Watts	Horas uso al mes	kWh consumo mensual promedio
Plancha	1100 W	10 hrs	11.0 kWh
Televisor	150 W	20 hrs	3.0 kWh
Equipo de sonido	150 W	7 hrs	1.05 kWh
Home Theater	180 W	7 hrs	1.26 kWh
Radiograbadora	50 W	3 hrs	0.15 kWh
DVD	150 W	6 hrs	0.09 kWh
VHS	20 W	6 hrs	0.12 kWh
Play Station	90 W	15 hrs	1.35 kWh
Lap Top	20 W	20 hrs	0.40 kWh
Computadora	190 W	20 hrs	3.80 kWh
Ventilador	130 W	15 hrs	1.95 kWh

Nota: ICE (s.f.).

Artículos y normas sobre generación de electricidad.

La generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables está normada con respecto al artículo N° 39220-MINAE, cuyo objetivo es regular la actividad de generación utilizando el método contractual de medición neta sencilla, de manera tal que dicha implementación contribuya al modelo eléctrico del país (MINAE, 2015, párr. 1-13).

También se incluye la norma técnica AR-NT-POASEN 2016 (Planeación, Operación y Acceso, al Sistema Eléctrico Nacional) con reglamentación sobre generación de electricidad a pequeña escala y la norma AR-NT-SUCOM sobre supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión (MINAE, 2015, párr. 1-13).

Artículos de la norma técnica AR-NT-POASEN 2016

Capítulo XII. Generación a pequeña escala para autoconsumo.

Artículo 123. Productor consumidor no interconectado a la red.

El productor-consumidor con un sistema de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables, no interconectado a la red de distribución, no estará sujeto a la regulación dictada por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos [ARESEP], 2016, p. 55).

Artículo 124. Modalidades de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables interconectadas a la red.

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

1. Neta sencilla: 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
2. 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, 2016, pp. 55-56).

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

La actividad de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables, utilizando el modelo contractual de medición neta sencilla, no es servicio público; consecuentemente, no estará sujeta a la regulación de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. Dicha actividad se regirá por lo que establezca para tales efectos el Ministerio de Ambiente y Energía como ente rector en la materia. No obstante, lo anterior, en lo que se refiere a su interacción con la red de distribución, estará sujeta a la regulación dictada por la Autoridad Reguladora en esta materia (ARESEP, 2016, p. 56).

Artículo 126. Generación distribuida para autoconsumo en su modalidad neta completa.

La actividad de generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables, utilizando el modelo contractual de medición neta completa (venta de excedentes), es servicio público y se regirá por lo establecido en la Ley 7200, la Ley 7593 y sus reformas; así como las normas y los reglamentos técnicos, las metodologías tarifarias y las tarifas fijadas para tales efectos por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. Asimismo, en lo que le sea aplicable, se regirá por lo establecido para tales efectos por el Ministerio de Ambiente y Energía (ARESEP, 2016, p. 56).

Artículo 127. Relación empresa distribuidora y productores consumidores.

Las relaciones entre las empresas distribuidoras y los productores-consumidores 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, se regirán por el contrato de interconexión establecido por el MINAE, respetando para ello la regulación establecida por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos en lo relativo a sus competencias (ARESEP, 2016, p. 56).

Artículo 128. Cumplimiento de 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.

Este capítulo fue modificado en su totalidad mediante resolución RJD-030-2016 de las 15:50 horas del 18 de febrero de 2016, publicada en el Alcance N° 25 a La Gaceta N° 37 del 23 de febrero de 2016 (ARESEP, 2016, p. 56).

Artículos de la Ley N° 39220-MINAE

Capítulo IV. Disposiciones generales para el sistema de generación distribuida para autoconsumo.

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.

La energía total producida y la energía no consumida serán contabilizadas de forma mensual por un período de un año dentro del proceso de facturación, siendo su fecha anual de corte un acuerdo de las partes dentro del contrato de interconexión. Se exceptúan de estas limitaciones, previa evaluación y autorización de la empresa distribuidora, los sistemas de generación distribuida que utilicen residuos agroindustriales o la fuerza hidráulica para la generación de electricidad. Reglamento generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables modelo de contratación medición neta sencilla (MINAE, 2015).

Artículos sobre la ley de supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión AR-NT-SUCOM.

Capítulo XVI. Interconexión, acceso y suministro eléctrico para abonados-usuarios-productores.

Artículo 134. Servicios con facturación de demanda.

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, 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 (ARESEP, 2016).

Sistema hidrosanitario

Este sistema se utiliza para establecer las normas en instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificios con el fin de proporcionar las condiciones adecuadas en habitaciones, edificios e instalaciones. Este sistema establece las instalaciones para agua potable, pluviales, aguas negras, reutilización, alcantarillados, entre muchas más (Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, 2017).

Artículos del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (Edición 2017) del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.

El Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA) realiza una serie de códigos y normas técnicas con el fin de establecer los requisitos básicos que aseguren la calidad adecuada de las obras. El Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones del CFIA establece los requisitos mínimos para proteger la salud pública, la seguridad, el bienestar de las edificaciones destinadas para uso, ocupación o habitación humana en cuanto a sistemas de agua potable, pluvial, residual, sistemas de bombeo, captación de agua, etc. Del código se extraen los siguientes artículos (CFIA, 2017).

Capítulo 6. Sistemas de agua fría y agua caliente.

6.3 Normas para el dimensionamiento de tuberías de distribución.

Artículo 6.3.1-1.

La presión mínima en los nodos del sistema de distribución deberá permitir el funcionamiento adecuado de las piezas sanitarias correspondientes. La tabla 6.1 que se muestra en la figura 18 indica las presiones mínimas recomendadas para la operación de varios aparatos sanitarios. En ningún caso, la presión a la entrada de las piezas sanitarias será menor de dos metros de columna de agua (2 mca). Si la presión máxima en los puntos de alimentación de las piezas sanitarias es mayor a cuarenta metros columna de agua (40 mca), el sistema deberá dividirse en zonas de presión, o instalar válvulas reductoras de presión (CFIA, 2017).

Artículo 6.3.1-2

La presión de servicio después del medidor deberá ser mayor a diez metros de columna de agua (10 mca).

Figura 18. Diámetros, presiones y caudales mínimos requeridos en los puntos de alimentación de las piezas sanitarias

Accesorio	Diámetro Mínimo ¹ (mm)	Presión Mínima ² (mca)	Unidades de accesorio (u.a)	
			Uso Privado	Uso Público
Tina de baño	12	2	2	4
Bidé	12	3	1	2
Ducha	12	2	2	4
Fregadero				
Doméstico	12	2	2	4
Comercial	12	2	-	4
Clínicas	12	4	-	8
Inodoro				
Con Tanque	12	2	3	5
Con fluxómetro ³	32	7 a 14	6	10
Fuente para beber	12	2,5	-	1
Lavatorio	12	2	1	2
Lavadora	12	3,5	4	-
Llave para riego (jardín)	12	10	2	2
Mingitorios				
Con tanque	18	2	-	3
Con fluxómetro	18	5 a 10	4 a 5	5 a 6
Lavaplatos doméstico	12	2	1,5	
Pileta de lavar	12	2	2	4

Nota: CFIA (2017).

1. Diámetro interno mínimo de tubería de alimentación. En el caso de inodoros y lavatorios, este diámetro es del ramal de alimentación hasta la llave de paso
2. Presión mínima a la entrada del accesorio en metros de columna (o cabeza) de agua
3. La presión mínima depende del tipo de válvula semiautomática
4. Caudales en función de las unidades de accesorio. Estos caudales son para dimensionar tanto las tuberías que conducen solamente agua fría como aquellas que conducen agua fría y el caudal que deba calentarse. En el caso de que se trate de accesorios con suministro

independiente para agua fría y agua caliente, se podrá asumir que por cada una de ellas circularán las tres cuartas partes de los caudales descritos en la presente tabla (CFIA, 2017).

6.3.2 Velocidades de flujo

Artículo 6.3.2-1

Para el dimensionamiento de las tuberías de distribución, se recomienda una velocidad mínima de sesenta centímetros por segundo (0,60 m/s) para evitar la sedimentación de partículas, y una velocidad máxima de dos metros por segundo (2,00 m/s) para evitar ruido excesivo en las tuberías y golpes de ariete (CFIA, 2017).

Artículo 6.3.2-2

Figura 19. Velocidades y caudales máximos recomendados de acuerdo con los criterios anteriores, para tuberías de hierro galvanizado, CPCV y de PVC

Diámetro nominal (mm)	Velocidad Máxima (m/s)			Caudal Máximo (Litros/s)			Gradiente Hidráulico ⁽³⁾ (mca/m)	
	PVC ⁽¹⁾	H.G ⁽²⁾	CPVC	PVC	H.G	CPVC	PVC	H.G
12	1,34	1,30		0,35	0,30		0,138	0,173
18	1,53	1,47	1,11	0,67	0,55	0,13	0,130	0,163
25	1,71	1,67	1,35	1,17	1,04	0,35	0,123	0,153
32	1,92	1,91		2,09	2,04		0,116	0,143
38	2,00	2,00		2,85	2,80		0,106	0,132
50	2,00	2,00		4,45	4,58		0,082	0,099
62	2,00	2,00		6,52	6,29		0,065	0,082
75	2,00	2,00		9,66	10,48		0,052	0,061
100	2,00	2,00		15,97	17,65		0,039	0,045

Nota: CFIA (2017).

Capítulo 7. Sistemas de desagüe de aguas residuales.

7.2 Materiales para tuberías de desagües, tubos de ventilación, sus uniones y conexiones.

Artículo 7.2-1.

En los conductos para desagüe de aguas residuales, domiciliarios o industriales, deberán utilizarse tuberías de los siguientes materiales, según las indicaciones de los artículos siguientes (CFIA, 2017).

1. Hierro fundido
2. PVC (DWV)
3. Acero galvanizado
4. Polietileno
5. Concreto
6. Polipropileno.

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) (CFIA, 2017).

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 (CFIA, 2017).

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:

1. American Water Works Association (AWWA)
2. American Standards Association (ASA)
3. American Society for Testing and Materials (ASTM)
4. British Standards Institute (BSI)

5. International Organization for Standardization (ISO)

6. 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:

1. ASTM D 3034, tubería y accesorios de PVC para alcantarillado sanitario
2. ASTM D 2665, tubería y accesorios de PVC para drenaje, sistemas sanitarios y ventilación (DWV)
3. ASTM D 3350, tubería y accesorios de polietileno
4. ASTM F-949, tubería y accesorios de PVC de pared corrugada (estructurada) con interior liso (CFIA, 2017).

Artículo 7.2-7 Uniones.

Las uniones para las tuberías de desagüe y ventilación deberán estar de acuerdo con la clase y el tipo de las tuberías respectivas, y deberán garantizar la estanqueidad del sistema (CFIA, 2017).

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% (CFIA, 2017).

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 (CFIA, 2017).

7.9 Bombeo de aguas residuales y de lluvia.

Artículo 7.9-7. Requisitos de las bombas.

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

1. Ser de diseño especial para que durante su operación se garantice una protección adecuada contra obstrucciones. Es recomendable que los impulsores sean abiertos

2. Su capacidad deberá ser de por lo menos de dos veces el caudal máximo que recibe el pozo de bombeo
3. 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 (2,5 m/s) en el tramo de impulsión
4. En ningún caso, el diámetro de la tubería de succión debe ser inferior a cien milímetros (0,10 m)
5. 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
6. 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
7. 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 (0,01 m), estas válvulas deberán tener el cuerpo de hierro fundido y, para tamaños menores, el cuerpo deberá ser hierro fundido o bronce
8. 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
9. 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

10. Para determinar el tiempo y la frecuencia de operación de la bomba, se deberán considerar las características del motor de esta. 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 (CFIA, 2017).

Capítulo 9. Normas para sistemas de recolección y evacuación de aguas de lluvia

9.1 Normas generales.

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 (CFIA, 2017).

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 (CFIA, 2017).

Artículo 9.1-3.

Cuando sistemas separados de desagüe sanitario y pluvial existan en una misma propiedad, estos podrán ubicarse juntos en una misma trinchera (CFIA, 2017).

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 estos. Algunas maneras de lograr esto es utilizando biorretenedores y almacenando el agua de lluvia en áreas inundables como plazas, parques, parques perimetrales y lagos intermitentes, entre otras (CFIA, 2017).

9.2 Materiales para tuberías y accesorios para desagüe pluvial.

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 (CFIA, 2017).

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 (CFIA, 2017).

Artículo 9.2-5.

Las tuberías y los accesorios para desagüe de aguas de lluvia deberán cumplir con las normas estipuladas en la sección 7.2 (CFIA, 2017).

9.3 Normas para el cálculo de las tuberías de desagüe pluvial.

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:

Fórmula 11. Diseño de tubería

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

Nota: CFIA (2017)

Donde:

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

i = Intensidad de la lluvia (mm/h).

A = Área del drenaje tributaria (m²).

C = Coeficiente de escorrentía superficial (adimensional).

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

1. Coeficiente de escorrentía. Para la estimación del coeficiente de escorrentía, se recomiendan los valores indicados en la imagen 20; sin embargo, el profesional responsable del diseño podrá utilizar otros valores aceptados por las buenas prácticas de la profesión. Los valores indicados en la figura 20 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 Cf indicado en la figura 21. El producto de $C \times C_f$ no debe exceder la unidad (CFIA, 2017).

Figura 20. Coeficiente de escorrentía

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	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			Abiertas	0,60 a 0,70
Residencial multifamiliar densa	0,60 a 0,75	Pavimentos	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

Nota: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (CFIA, 2017).

Figura 21. Factores de escorrentía

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

Nota: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (CFIA, 2017).

- a) 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 figuras 22 y 23 (CFIA, 2017).

Figura 22. Intensidad de lluvia (mm/h) 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

Nota: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (CFIA, 2017).

Figura 23. Intensidades de lluvia (mm/h) 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

Nota: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (CFIA, 2017).

- a) Periodo de retorno. La frecuencia o periodo de retorno del aguacero de diseño se determinará de acuerdo con los daños, 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 (CFIA, 2017).

Artículo 9.3-3.

Para la determinación de los diámetros de los bajantes de desagüe de aguas de lluvia, se utilizará la figura 24. Como regla práctica, se puede utilizar un centímetro cuadrado de área transversal de bajante por cada metro cuadrado de área de techo (CFIA, 2017).

Figura 24. Caudales máximos en bajantes de 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

Nota: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (CFIA).

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 esorrentía 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:

Fórmula 19. Estimación para el volumen del tanque colector

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

Nota: Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (CFIA, 2017)

Donde:

V_t = Volumen del tanque de captación (m^3).

$Q (10,30)$ = Caudal máximo para un aguacero con un periodo de retorno de 10 años y una duración de 30 minutos (m^3/s) (CFIA, 2017).

Artículo 9.4-6.

Los tanques colectores de aguas de lluvia deberán cumplir con lo estipulado en la sección 7.9 (CFIA, 2017).

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 (CFIA, 2017).

Artículo 9.4-80.

Las bombas de agua de lluvia deberán cumplir con lo estipulado en la sección 7.9 (CFIA 2017).

Diámetro de la tubería.

Usualmente, se recomienda que las velocidades en succión e impulsión sean 1.8 m/s y 2.5 m/s respectivamente. Esto con el fin de evitar sedimentación o incidentes con la erosión. La ecuación que relaciona la velocidad del fluido y el caudal es la siguiente:

Fórmula 20. Cálculo del diámetro de la tubería

$$Q = v * A$$

Nota: Ingemecánica (s.f.).

Donde:

Q = Es el caudal volumétrico o flujo de agua que circula por la tubería (m³/h).

v = Es la velocidad del agua en el interior de la tubería (m/s).

A = Es el área de la sección interna de la tubería ($\pi \cdot D^2 / 4$), siendo D el diámetro interior de la tubería (mm).

Altura manométrica.

Es la distancia expresada en metros columna de agua que va desde donde se toma el fluido (succión) hasta donde se deposita el fluido (impulsión). Es conocida también como la presión que debe dar la bomba.

Fórmula 21. Cálculo de la altura manométrica

$$H = H_g + P_c + 10 \cdot \frac{P_i - P_a}{\gamma}$$

Nota: Ingemecánica (s.f.).

Donde:

H_g = Es la altura geométrica que debe vencer el fluido (m).

P_c = Es la pérdida de carga del fluido a su paso por las tuberías, válvulas y accesorios (m).

P_i - P_a / γ = Es la diferencia de presión que existe entre las superficies de impulsión y la aspiración de la bomba (m).

Altura geométrica.

Es la sumatoria de la altura de aspiración (H_a) y la altura de impulsión (H_i).

Fórmula 22. Cálculo de la altura geométrica

$$H_g = H_a + H_i$$

Nota: Ingemecánica (s.f.).

Pérdidas de carga por rozamiento.

La pérdida de carga es la que se origina por el rozamiento del paso del fluido por los tramos de tubería recta y accesorios. Esta pérdida va a depender de las propiedades del tipo de fluido que esté pasando como la densidad, la viscosidad y la temperatura; así como del material con que estén hechos la tubería y los accesorios, el diámetro y las distancias. Se utiliza la fórmula de Hazen-Williams debido que es especial cuando el fluido es agua, con esto se estiman las pérdidas de presión en tuberías y accesorios por medio del método de tubería equivalente.

Fórmula 23. Cálculo de pérdidas de Hazen-Williams

$$hf_{[m]} = 10,67 \cdot \left(\frac{Q_{[m^3/s]}}{C} \right)^{1,852} \frac{L_{[m]}}{D_{[m]}^{4,87}}$$

Nota: Ingeniería Civil (s.f.).

Donde:

$hf_{[m]}$ = Pérdida de carga medida en metros columna de agua (m).

10,67 = Coeficiente adimensional, es un valor dado.

Q = Caudal medido en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

C = Coeficientes C ver figura 27.

L = Longitud de la tubería medida en metros (m).

D = Diámetro de la tubería medida en metros (m).

Pérdidas en tubería recta.

Pérdidas por rozamiento del agua o cualquier fluido en las tuberías, expresada en metros por cada 100 metros de tubería recta. En la figura de abajo, se muestra la pérdida en tubería de PVC cuando el fluido es agua a temperatura ambiente.

Figura 25. Tabla de pérdidas en tubería de PVC y polietileno para agua

Q(l/h)	Diámetro interior de la tubería en mm.											
	14	19	25	32	38	50	63	75	89	100	125	150
Metros de columna de agua por 100 m de recorrido recto												
500	8,9	2,1	0,6									
800	20,2	4,7	1,3	0,4								
1000	29,8	7	1,9	0,6								
1500		14,2	3,9	1,2	0,5							
2000		23,5	6,4	2	0,9							
2500			9,4	2,9	1,3	0,4						
3000			13	4	1,8	0,5	0,2					
3500			17	5,3	2,3	0,6	0,2					
4000			21,5	6,6	2,9	0,8	0,3	0,1				
4500				8,2	3,6	1	0,3	0,1				
5000				9,8	4,3	1,2	0,4	0,2				
5500				11,6	5,1	1,4	0,5	0,2				
6000				13,5	6	1,6	0,5	0,2				
6500				15,5	6,9	1,9	0,6	0,3				
7000				17,7	7,8	2,1	0,7	0,3				
8000				22,4	9,9	2,7	0,9	0,4	0,2			
9000					12,1	3,3	1,1	0,5	0,2			
10000					14,6	4	1,3	0,6	0,3	0,1		
12000					20,1	5,5	1,8	0,8	0,4	0,2		
15000					29,7	8,1	2,7	1,2	0,5	0,3		
18000						11,1	3,7	1,6	0,7	0,4	0,1	
20000						13,3	4,5	1,9	0,9	0,5	0,2	
25000						19,7	6,6	2,9	1,3	0,7	0,3	
30000							9	4	1,8	1	0,3	9,1
35000							11,8	5,2	2,3	1,3	0,5	0,2
40000							15	6,5	2,9	1,7	0,6	0,2
45000							18,4	8	3,6	2	0,7	0,3
50000								9,7	4,3	2,5	0,9	0,4
60000								13,3	5,9	3,4	1,2	0,5
70000									7,7	4,4	1,5	0,6
80000									10,4	5,6	1,9	0,8
90000									12,9	7,3	2,4	1
100000										8,9	2,9	1,2
125000											4,5	1,8
150000											6,3	2,6
175000											8,4	3,5
200000											10,7	4,4
250000												6,7
300000												9,3

Para otras tuberías recomendamos multiplicar los valores obtenidos en la tabla por los siguientes coeficientes:
 Tuberías de fibrocemento: 1,2
 Tuberías de hierro galvanizado: 1,5

Nota: Ingemecánica (s.f.).

Pérdidas en accesorios.

En la siguiente imagen, se incluye la longitud equivalente de tubería en metros, para estimar la pérdida de carga en accesorios, según el tipo de accesorio y el diámetro del tubo donde va acoplado.

Figura 26. Pérdidas de carga en accesorios

Diámetro del tubo	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600	700
Curva 90°	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,2	1,8	2	3	5	5	6	7	8	14	16
Codo 90°	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,3	1,7	2,5	2,7	4	5,5	7	8,5	9,5	11	19	22
Cono difusor	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Válvula de pie	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	40	45	55	60	75	90	100
Válvula de retención	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40	50	60	75	85
V. Compuerta Abierta	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1,5	2	2	2	2,5	3	3,5	4	5
V. Compuerta ³ / ₄ Abierta	2	2	2	2	2	2	4	4	6	8	8	8	10	12	14	16	20
V. Compuerta ¹ / ₂ Abierta	15	15	15	15	15	15	30	30	45	60	60	60	75	90	105	120	150

Nota: Ingemecánica (s.f.).

Figura 27. Coeficientes C para Hazen-Williams

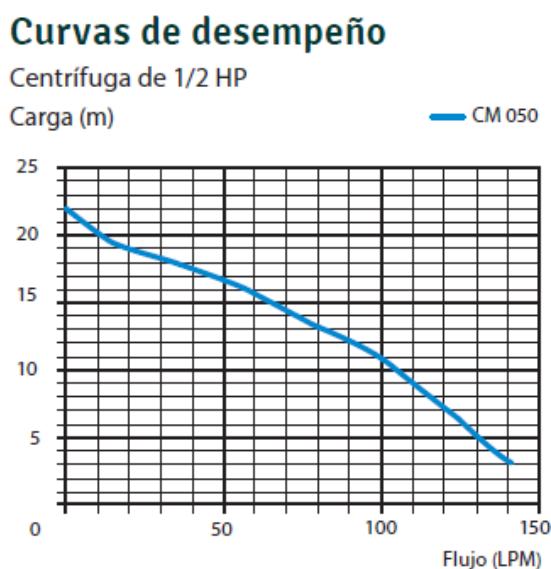
Material	Coeficiente de Hazen-Williams
Asbesto-cemento (nuevo)	135
Cobre y Latón	130
Ladrillo de saneamiento	100
Hierro fundido, nuevo	130
Hierro fundido, 10 años de edad	107 – 113
Hierro fundido, 20 años de edad	89 – 100
Hierro fundido, 30 años de edad	75 – 90
Concreto, acabado liso	130
Concreto, acabado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

Nota: FARGO (s.f.).

Elección del tipo de bomba.

Conociendo el caudal que se quiere bombear y las pérdidas o altura manométrica, se puede calcular el tipo de bomba que se necesita dependiendo del caudal que se requiera. Cada fabricante brinda las curvas características de desempeño de las bombas, esto a partir de las pérdidas que permiten definir el caudal.

Figura 28. Curva característica para bombas modelo CM050/23M



Nota: Bombas Rotoplas (s.f.).

Elección de la bomba para piscinas y fuentes.

Según el artículo 12 del Reglamento sobre Manejo de Piscinas Públicas de Costa Rica, en su decreto N° 26671-S, el equipo de recirculación debe tener capacidad para recircular toda el agua de la piscina en un período máximo de 6 horas. El agua de piscinas de renovación continua debe renovarse en un período máximo de 6 horas. Este criterio se va a usar para la renovación del agua en uso residencial. Según Luxart, compañía dedicada a la industria de sistemas para piscinas, este criterio de renovación puede variar entre 4 hasta 8 horas para uso residencial.

Captación de agua pluvial

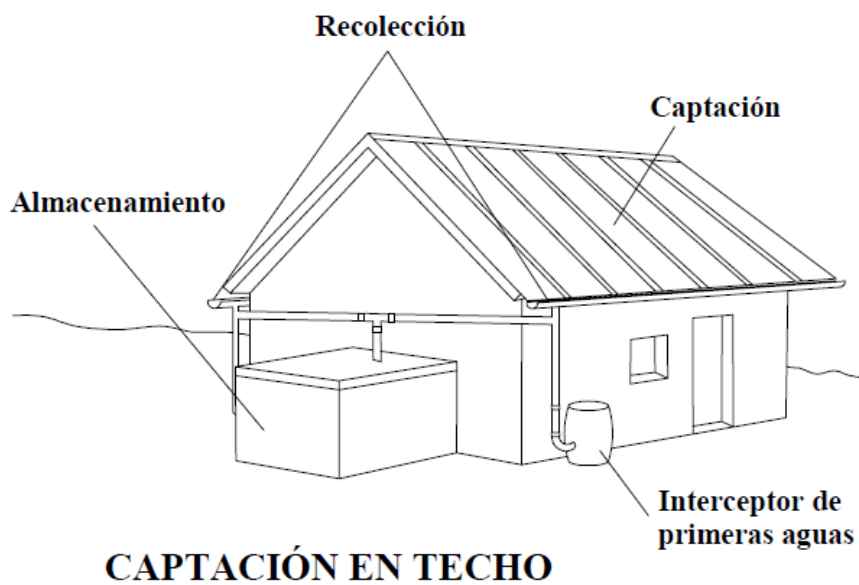
Es un sistema que se utiliza para el aprovechamiento del agua llovida en diferentes campos como agricultura, granjas, riego de jardines, actividades diarias en el hogar, etc. Este sistema se ha utilizado desde la antigüedad con el objetivo de solventar la escasez del agua.

Entre los beneficios más destacados están: evita la sequía y el uso de agua potable para actividades que no la requieran, como por ejemplo lavar un automóvil; conserva el medio ambiente; ahorra dinero; disminuye los químicos y la infraestructura que actualmente se utiliza para acarrear el agua de la red pública (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2004, p. 5).

Partes del sistema de captación de agua.

La siguiente imagen muestra los componentes básicos para los sistemas de captación de agua, y, posteriormente, se describe su funcionamiento.

Figura 24. Componentes de un sistema de captación



Nota: OPS (2004, p. 5).

Captación.

Es el área que se dispone para capturar el agua llovida, usualmente son los techos de las diferentes estructuras. En el caso de este trabajo, se trata del techo de una vivienda (OPS, 2004, p. 5).

Recolección y conducción.

Es el mecanismo que se utiliza para dirigir y reunir todas las aguas en un mismo punto, para luego ser canalizadas al depósito. Un buen ejemplo son las canoas, los bajantes y las partes bajas de los techos (OPS, 2004, p. 5).

Interceptor.

Es un dispositivo tipo filtro que captura las aguas por primera vez con el fin de eliminar impurezas. Hay sistemas sencillos como lo que se emplean para eliminar polvo y partículas grandes, así como sistemas complejos que permiten potabilizar el agua (OPS, 2004, p. 6).

Almacenamiento.

Es el contenedor donde se van a depositar las aguas de lluvia capturadas. El tamaño va a depender de la aplicación, como de las condiciones de lluvia que se tengan en el área (OPS, 2004, p. 6).

Aire acondicionado

Es un sistema que permite acondicionar, filtrar, recircular y variar la temperatura del aire. El aire acondicionado no genera frío, sino que extrae el calor del aire que pasa por dicho sistema.

Funcionamiento

Los circuitos de enfriamiento dentro del sistema de aire acondicionado hacen circular un gas refrigerante que va cambiando de estado según el paso a través de sus diferentes componentes. El gas pasa de estado gaseoso a líquido y de líquido a gaseoso.

Componentes de un aire acondicionado.

1. Evaporador: Es el encargado de extraer el aire caliente y cederlo al gas refrigerante. Un ventilador que se encuentra incorporado en la unidad interna permite fluir al aire ya enfriado al lugar que se quiere acondicionar. Esta unidad también contiene sensores de temperatura conectados al termostato
2. Válvula de expansión: Es la encargada de liberar el gas refrigerante y generar el proceso de vaporización

3. Condensador: Es la unidad externa que está conformada por el condensador y el compresor genera el proceso de condensación del refrigerante. Esta unidad también es la encargada de expulsar el aire caliente al exterior
4. Compresor: Genera el efecto contrario a la válvula de expansión, por lo tanto, comprime el gas al elevar la temperatura y lo convierte en líquido
5. Gas refrigerante: Es el fluido frigorífero que circula en el sistema y al que se le transfiere el calor. Este fluido inicia con un estado, va cambiando de fase según su paso en el circuito y vuelve a su condición inicial después de finalizado dicho proceso
6. Termostato: Es el encargado de mantener la temperatura deseada, este ayuda a controlar el funcionamiento de encendido y apagado del sistema según se alcanza o no la temperatura deseada (Armaba, 2011).

Aspectos para tomar en cuenta para calcular el aire acondicionado.

Para elegir un sistema de aire acondicionado, hay una serie de parámetros que se pueden tomar en cuenta para calcular el sistema ideal; esto va a depender de qué tan exacto se quiera hacer el cálculo. Cuando se elige un sistema de aire acondicionado, es importante saber qué áreas son las que se quieren enfriar y conocer las características de dicho lugar como los aislamientos, el tipo de paredes que hay, las posibles fugas que se puedan dar, áreas con cristales o que les incida directamente el sol, la cantidad de personas, los aparatos eléctricos o cualquier dispositivo que genere calor, entre otros factores.

Frigorías.

Es una unidad de potencia que se usa para medir la absorción de energía térmica en un lugar determinado. $1 \text{ frigoría (fg)} = -1000 \text{ cal/h} = -1 \text{ kcal/h}$. Se toman valores negativos porque se trata de pérdida de calor (Frigoría, 2018).

Usos y aplicaciones de la frigoría.

Se usan en sistemas de refrigeración y aires acondicionados, entre otros similares. Cuando se habla de aires acondicionados, es muy usado también el término BTU por sus siglas en inglés (British Thermal Unit), que equivale a 0.252 kcal. Son importantes otras equivalencias como que

1 kilojulio/hora equivale a 0.239 frigorías o bien 1000 watts/hora es el equivalente a 860 frigorías/hora (Frigoría, 2018).

Cálculo de las frigorías para un área determinada.

Existen diferentes métodos para calcular la cantidad de frigoría o BTU para la selección de un sistema de aire acondicionado. Esto va a depender de la exactitud que se quiera en el cálculo. Algunos métodos sencillos se basan solamente en al área a enfriar o en el volumen a enfriar, se pueden utilizar cálculos avanzados de transferencia de calor de todos los componentes y áreas en el recinto determinado o bien programas especializados. Entre algunos métodos sencillos, se encuentran:

1. Según González (2015), se puede calcular basado en el volumen del recinto en metros cúbicos por un coeficiente estándar más la suma de las personas y los equipos en dicho recinto por un coeficiente estándar. Por la tanto, la fórmula sería:

Fórmula 24. Cálculo de BTU para aire acondicionado

$$C = 230 \times V + (\#PyE \times 476)$$

Nota: González (2015).

Donde:

C = Cálculo de capacidad.

230 = Factor calculado para América Latina según temperatura máxima de 40 grados Celsius dado en BTU/hm³.

V = Volumen del lugar donde se va a instalar el equipo.

#PyE = Es la cantidad de personas y equipos dentro del lugar donde se va a instalar el equipo.

476 = Factores de ganancia y pérdida aportados por cada persona o electrodomésticos en BTU/hora (González, 2015).

2. Usar métodos simples hechos por fabricantes de aires acondicionados tales como Carrier que en su página en internet toma en cuenta diversos factores para calcular los BTU

necesarios para enfriar un recinto. Dicha calculadora de frigorías se puede ver en <https://www.carrier.com.ar/calculador-de-frigorias/> (Carrier, 2018).

Matemática financiera

Para los cálculos financieros, se van a utilizar dos de las fórmulas más comunes, las cuales son: el valor actual neto (VAN) para traer los valores a valor presente los flujos de caja futuros y la tasa interna de retorno (TIR) para verificar la rentabilidad del proyecto. Ambas fórmulas se detallan abajo.

Valor actual neto (VAN).

Es un cálculo financiero que consiste en traer a valor presente los flujos de caja futuros. En este cálculo, se toman en cuenta los intereses, el periodo, la inversión inicial, los cobros y los pagos. El valor obtenido del cálculo permite determinar si un proyecto es rentable o no (Valor actual neto, 2018)

Fórmula 25. Cálculo del valor actual neto

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

Nota: Valor actual neto, 2018.

Donde:

V_t : Es el flujo de dinero en cada periodo.

I_0 : Es la inversión inicial.

n : Es el número de periodos considerados.

k : Es el tipo de interés.

Los criterios que se toman en cuenta para determinar si un proyecto va a ser rentable o no son los siguientes:

- $VAN > 0$. Es un proyecto que va a generar ganancias y se determina como rentable.

- $VAN < 0$. Es un proyecto que va a generar pérdidas y se determina como no rentable.
- $VAN = 0$. Es un proyecto que no genera ni pérdidas, ni ganancias. En este caso, se necesitaría basar la decisión de tomar el proyecto o no con respecto a otros criterios internos de la compañía.

Tasa interna de retorno (TIR).

También conocida como la tasa de interés o rentabilidad de una inversión. Es el cálculo que cuantifica las ganancias o las pérdidas que tendrá una inversión en cuanto a los montos o los valores que no se han retirado del proyecto. La tasa interna de retorno se puede utilizar para valorar una posible oportunidad de reinvertir dichos valores no retirados. En términos financieros, la tasa interna de retorno se define como la tasa de descuento con la que el valor actual neto o valor presente neto es igual a cero (Tasa interna de retorno, 2018).

Fórmula 26. Cálculo de la tasa interna de retorno

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I = 0$$

Nota: Tasa interna de retorno, 2018.

Donde:

FT: Es el flujo de caja durante el periodo (t).

n: Es el número de periodos.

I: Es la inversión inicial.

El criterio de evaluación es el siguiente:

- $TIR > r$. Es un proyecto de inversión que se puede aceptar básicamente porque la rentabilidad va a ser mayor a la mínima requerida.
- $TIR = 0$. Se considera el mismo caso que cuando el TIR es mayor, es una inversión que se puede aceptar considerando criterios de posicionamiento de la empresa o si no hay más opciones disponibles a considerar para invertir.

- $TIR < 0$. Es un proyecto de inversión que se debe rechazar porque no generará la rentabilidad mínima requerida.

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

Enfoque de la investigación

El propósito de esta tesis es diseñar un sistema electromecánico para una residencia que incluya tanto una parte eléctrica como una parte mecánica. También, se va a incluir el aprovechamiento de recursos naturales como el solar por medio de los paneles fotovoltaicos que pretende bajar el consumo eléctrico; de la misma manera, se considerará la recolección de agua pluviales para riego de jardines.

Para este proyecto de trabajo de investigación y diseño, se utiliza un enfoque cuantitativo y de investigación descriptiva. Es meramente cuantitativo porque se pretende seguir un conjunto de procesos que permitan delimitar un planeamiento; se realiza el estudio de diversas literaturas para el marco teórico; se desarrolla el diseño de investigación y; se provee un reporte final.

Métodos de la investigación

Esta tesis se desarrolla en cuatro pasos, dicho proceso busca cumplir con los objetivos propuestos.

Planteamiento del problema.

Se plantea el problema, los objetivos, la justificación, la investigación, la viabilidad del estudio y las proyecciones con respecto a las necesidades y los requerimientos del diseño eléctrico y mecánico propuesto.

Investigación.

Para el desarrollo del diseño, se recopila información variada de diferentes fuentes con respecto a sistemas fotovoltaicos, sistemas eléctricos, sistemas mecánicos que permitan entender cómo funcionan, sus requerimientos y su implementación.

La literatura que se consulta para sistemas fotovoltaicos son tesis previas, manuales de internet y boletines con especificaciones. Para el diseño eléctrico, la investigación se fundamenta en el Código Eléctrico Nacional del 2008. Con respecto al diseño mecánico para el sistema de captación de aguas, se recopila información de revistas electrónicas, manuales y boletines varios.

Desarrollo.

Todo el diseño de la investigación requiere cálculos matemáticos que tienen que ser realizados con respecto a la normativa del país.

El sistema de iluminación, cargas, dimensionamiento de tableros, conductores, protecciones y canalizaciones se basan en el Código Eléctrico Nacional del 2008, el cual es normativa que se maneja en Costa Rica.

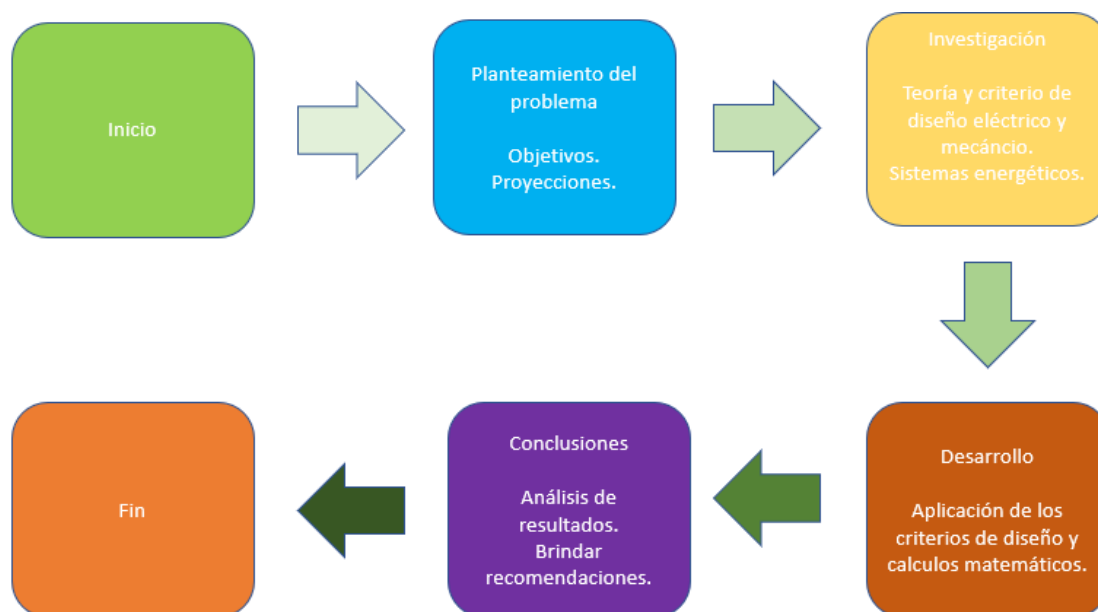
Con respecto al sistema fotovoltaico, se toman en consideración la radiación solar del lugar donde está ubicada la residencia; se estima el posible consumo y; se calcula la cantidad de paneles solares según la potencia que generan las celdas fotovoltaicas y el arreglo de los módulos. También, se toman en cuenta las especificaciones de los fabricantes con respecto a los paneles y el diseño del inversor. Finalmente, para el sistema de captación de agua, se analizan diferentes fuentes dentro de ellas el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, edición 2017.

Conclusión.

Al completar todo el análisis y desarrollo del diseño, y lograr los objetivos propuestos, finalmente, se pueden dar las conclusiones sobre cada tema que se expone a lo largo del estudio y se brindan las recomendaciones para el mejor diseño.

Diagrama de flujo

Figura 29. Diagrama de flujo del marco metodológico



Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

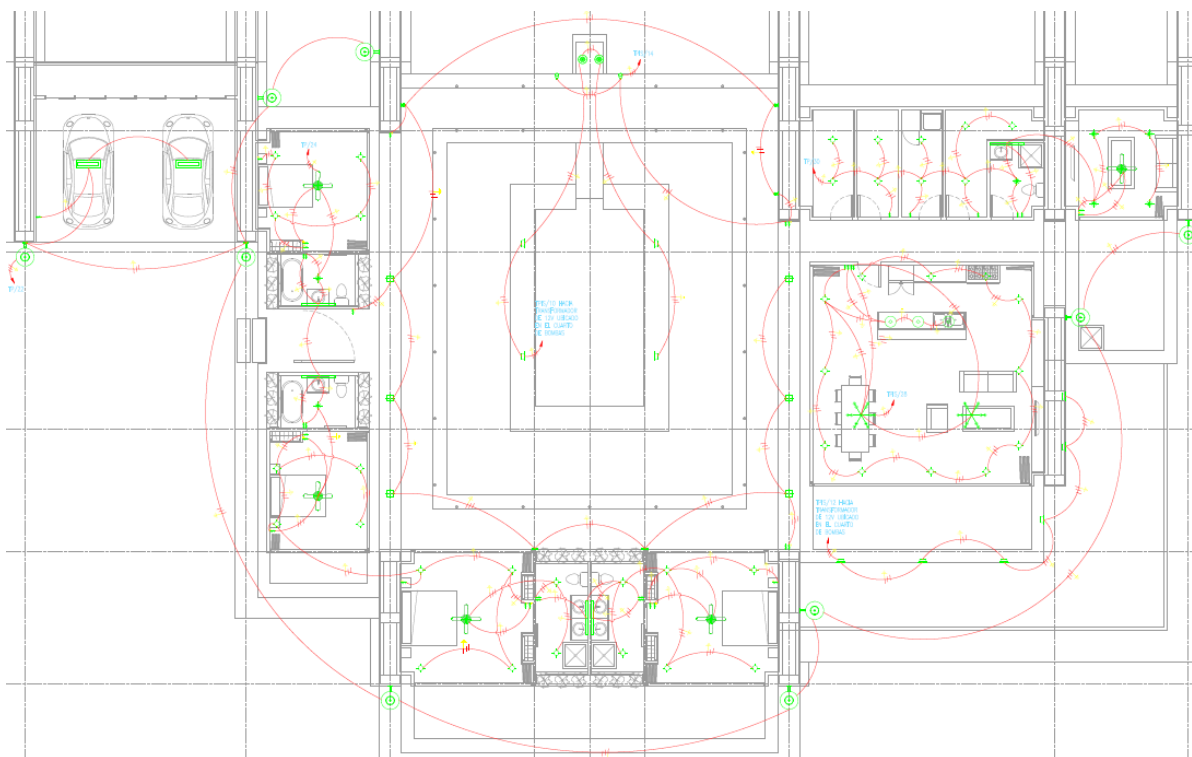
Memoria de cálculo para iluminación

Método de lúmenes

El método de lúmenes se aplicará a la residencia de la figura 25. Se calcularán los lúmenes necesarios para cada habitación y, de esta manera, se podrá especificar la cantidad de lámparas y luminarias requeridas para iluminar cada recinto. Esto se va a realizar por medio de las fórmulas 3 y 4 previamente especificadas en el marco teórico. También se tomarán en cuenta los valores mínimos de servicio de iluminación medidos en “LUX” recomendados para viviendas según la norma INTECO 2000-09-20. Esta norma brinda sugerencias; sin embargo, el criterio quedará a discreción del diseñador.

Según norma INTECO 2000-09-20 (ver figura 6), la iluminación general en servicios de baños debería ser 100 luxes; la iluminación localizada en espejos para baños, 200 luxes; la iluminación de cocina, pileta y mesas, de 200 luxes y; la iluminación general para dormitorios y cama o espejos, de 200 luxes.

Figura 30. Plano representando las luminarias



Nota: Elaboración propia.

El flujo luminoso se calcula con base en la fórmula 11, la ecuación es la siguiente.

$$Q_t = \frac{E_m * S}{C_u * C_m}$$

Donde:

Q_t = Flujo luminoso para una zona determinada (lúmenes).

E_m = Nivel de iluminación medio (lux).

S = Superficie a iluminar (m^2).

C_u = Coeficiente de utilización.

C_m = Coeficiente de mantenimiento, que es el grado de conservación de la luminaria.

Si se toma en cuenta el área del garaje que es de $43 m^2$ y un nivel de iluminación de 100 luxes, con un coeficiente de utilización de 0.7 según el fabricante Sylvania y un coeficiente de mantenimiento de 0.8 por considerarse un ambiente limpio, la ecuación quedaría de la siguiente manera.

$$Q_t = \frac{43 * 100}{0.7 * 0.8} = 7678.57 \text{ lúmenes}$$

Una vez que se tiene la cantidad de lúmenes necesarios para el recinto, el siguiente paso es escoger la lámpara y la luminaria para el recinto. En este caso, se van a utilizar tres tipos de lámparas todas de la marca Sylvania según el recinto que se quiera iluminar. Los números de parte y descripciones se pueden ver abajo.

1. P24971-36 (BULBO P/PENDANT LED 30W, 3.0K, 2400 lm, 3000 k)
2. P25940-36 (SYL-LIGHTER LED Ø220 21W, 3.0K, 1800 lm, 3000 k)
3. P26199-36 (DOWN LIGHT SPOT GIRO 6.5W, 3.0K, 560 lm, 3000 k).

La cantidad de luminarias se calcula con base en la fórmula 12, la ecuación es la siguiente.

$$N_l = \frac{Q_t}{n * Q_l}$$

Donde:

N_l = Número de luminarias, este valor se redondea por exceso.

Q_t = Flujo luminoso total necesario para la zona determinada.

n = Número de lámparas que tiene la luminaria.

Q_l = Flujo luminoso de una lámpara.

El flujo luminoso del cálculo anterior fue de 7678.57 lúmenes, cada luminaria puede albergar dos lámparas y cada lámpara del tipo P24971-36 puede dar hasta 2400 lúmenes. La ecuación quedaría de la siguiente manera.

$$N_l = \frac{7678.57}{2 * 2400} = 1.599$$

El resultado de 1.599 se redondea hacia arriba a un número entero; por lo tanto, para iluminar correctamente el garaje, es necesario colocar 2 luminarias. De la misma manera, se hace el cálculo para el resto de los recintos según su área; estos detalles se describen en la siguiente tabla.

Tabla 2. Cálculo de lúmenes

Método de lúmenes para cálculo de las luminarias									
Recinto	Área en m ²	INTECO 2000-09-20 Lux	Coefficiente de utilización	Coefficiente de mantenimiento	Flujo luminoso Sylvania	Número de lámparas por luminaria	Lúmenes	Cantidad de luminarias	Cantidad de luminarias redondeo
Garaje	43.0	100.0	0.7	0.8	2400.0	2.0	7678.6	1.6	2.0
Cuarto A	29.0	200.0	0.7	0.8	2400.0	2.0	10357.1	2.2	3.0
Baño del cuarto A	8.0	100.0	0.7	0.8	1800.0	1.0	1428.6	0.8	1.0
Cuarto B	29.0	200.0	0.7	0.8	2400.0	2.0	10357.1	2.2	3.0
Baño del cuarto B	8.0	100.0	0.7	0.8	1800.0	1.0	1428.6	0.8	1.0
Cuarto C	20.0	200.0	0.7	0.8	2400.0	2.0	7142.9	1.5	2.0
Baño del cuarto C	7.0	100.0	0.7	0.8	1800.0	1.0	1250.0	0.7	1.0
Cuarto D	22.0	200.0	0.7	0.8	2400.0	2.0	7857.1	1.6	2.0
Baño del cuarto D	7.0	100.0	0.7	0.8	1800.0	1.0	1250.0	0.7	1.0
Pasillo CD	10.0	100.0	0.7	0.8	1800.0	1.0	1785.7	1.0	1.0
Circulación	227.0	100.0	0.7	0.8	2400.0	2.0	40535.7	8.4	9.0
Despensa	7.0	100.0	0.7	0.8	1800.0	1.0	1250.0	0.7	1.0
Armario del propietario	6.0	100.0	0.7	0.8	1800.0	1.0	1071.4	0.6	1.0
Cuarto eléctrico	6.0	100.0	0.7	0.8	1800.0	1.0	1071.4	0.6	1.0
Lavandería	6.0	100.0	0.7	0.8	1800.0	1.0	1071.4	0.6	1.0
Cuarto mecánico	4.0	100.0	0.7	0.8	1800.0	1.0	714.3	0.4	1.0
Baño del cuarto mecánico	6.0	100.0	0.7	0.8	1800.0	1.0	1071.4	0.6	1.0
Sala de televisión	15.0	100.0	0.7	0.8	1800.0	2.0	2678.6	0.7	1.0
Pasillo colindante con la sala	19.0	100.0	0.7	0.8	1800.0	1.0	3392.9	1.9	2.0
Sala, comedor y cocina	77.0	200.0	0.7	0.8	2400.0	2.0	27500.0	5.7	6.0
Terraza	42.0	100.0	0.7	0.8	2400.0	2.0	7500.0	1.6	2.0
Total									43.0

Nota: Elaboración propia.

La tabla 2 muestra la cantidad de lúmenes que se necesitan para cada recinto y cuántas lámparas se ocuparían del tipo P24971-36 para iluminar correctamente el recinto; sin embargo, se hará una mezcla de las tres luminarias escogidas según la cantidad de lúmenes requerida y el tipo de recinto. En la tabla 3, se detallan el arreglo de la cantidad de lámparas y el tipo de lámparas que se escogieron para iluminar los diferentes recintos, y se hace una comparación de los lúmenes requeridos y los instalados; también se muestra la sumatoria de la potencia instalada.

Tabla 3. Distribución del tipo de lámparas

Cantidad de lámparas y luminarias									
Recinto	Área en m ²	P24971-36 (BULBO P/PENDANT LED 30W, 3.0K, 2400 lm, 3000 k)	P25940-36 SYL-LIGHTER LED Ø220 21W, 3.0K, 1800 lm, 3000 k	P26199-36 DOWN LIGHT SPOT GIRO 6.5W, 3.0K, 560 lm, 3000 k	Lúmenes instalados	Lúmenes requeridos	Cantidad de luminarias instaladas	Cantidad de luminarias requeridas	Potencia total en watts
Garaje	43.0	4.0	0.0	0.0	9600.0	7678.6	2.0	2.0	120.0
Cuarto A	29.0	4.0	0.0	4.0	11840.0	10357.1	6.0	3.0	146.0
Baño del cuarto A	8.0	0.0	1.0	1.0	2360.0	1428.6	2.0	1.0	27.5
Cuarto B	29.0	4.0	0.0	4.0	11840.0	10357.1	6.0	3.0	146.0
Baño del cuarto B	8.0	0.0	1.0	1.0	2360.0	1428.6	2.0	1.0	27.5
Cuarto C	20.0	2.0	0.0	4.0	7040.0	7142.9	5.0	2.0	86.0
Baño del cuarto C	7.0	0.0	1.0	1.0	2360.0	1250.0	2.0	1.0	27.5
Cuarto D	22.0	2.0	0.0	4.0	7040.0	7857.1	5.0	2.0	86.0
Baño del cuarto D	7.0	0.0	1.0	1.0	2360.0	1250.0	2.0	1.0	27.5
Pasillo CD	10.0	0.0	1.0	0.0	1800.0	1785.7	1.0	1.0	21.0
Circulación	227.0	16.0	0.0	0.0	38400.0	40535.7	8.0	9.0	480.0
Despensa	7.0	0.0	1.0	0.0	1800.0	1250.0	1.0	1.0	21.0
Armario del propietario	6.0	0.0	1.0	0.0	1800.0	1071.4	1.0	1.0	21.0
Cuarto eléctrico	6.0	0.0	1.0	0.0	1800.0	1071.4	1.0	1.0	21.0
Lavandería	6.0	0.0	1.0	0.0	1800.0	1071.4	1.0	1.0	21.0
Cuarto mecánico	4.0	0.0	1.0	0.0	1800.0	714.3	1.0	1.0	21.0

Baño del cuarto mecánico	6.0	0.0	1.0	0.0	1800.0	1071.4	1.0	1.0	21.0
Sala de televisión	15.0	0.0	1.0	4.0	4040.0	2678.6	5.0	1.0	47.0
Pasillo colindante con la sala	19.0	0.0	2.0	0.0	3600.0	3392.9	2.0	2.0	42.0
Sala, comedor y cocina	77.0	12.0	0.0	0.0	28800.0	27500.0	6.0	6.0	360.0
Terraza	42.0	4.0	0.0	0.0	9600.0	7500.0	2.0	2.0	120.0
Exteriores	N/A	18.0	0.0	0.0	43200.0	N/A	9.0	N/A	540.0
Total	598.0	66.0	14.0	24.0	197040.0	138392.9	71.0	43.0	2430.0

Nota: Elaboración propia.

Para la iluminación de la piscina y la fuente, se escogieron luminarias y lámparas de la marca Pentair que son reconocidas por su calidad y por ser especiales para este tipo de ambiente. Son de bajo consumo y se alimentan con corriente directa, el motivo por el cual se eligió este tipo de iluminación por encima de corriente alterna es por seguridad en caso de fallo.

Tabla 4. Luminarias y transformador para piscina y fuente

Lámpara y luminaria					
Recinto	Marca	Modelo	Descripción	Cantidad	Potencia total
Piscina	Pentair	640133	IntelliBrite 5G Color Spa Light with 150' Cord, 12V, 18 w	4	72
Fuente	Pentair	640133	IntelliBrite 5G Color Spa Light with 150' Cord, 12V, 18 w	6	108
Total				10	180

Nota: Catálogo Intellibrite 5G PENTAIR.

Para convertir la corriente alterna (AC) a corriente directa (DC), se debe colocar un transformador especial de la misma marca. Su descripción se puede ver en la tabla 5.

Tabla 5. Modelo del transformador

Transformador para iluminación de piscina y fuente					
Equipo	Marca	Modelo	Descripción	Cantidad	Potencia
Transformador	Pentair	619963	Light Transformer 12V a 14V 300W	1	300

Nota: Catálogo Intellibrite 5G PENTAIR.

Memoria de cálculo para circuitos

El diseño de la residencia ubicada en playa Dominical se realizará acorde al Código Eléctrico Nacional 2008 en su edición en español. Los circuitos por contemplar son iluminación, tomas generales y salidas especiales como lavandería secadora, cocción, climatización. También, se va a considerar el tipo de cableado que se debe instalar en las acometidas.

Cargas de circuitos de iluminación.

Cálculo de alumbrado general y tomas por tipo de ocupación.

Para el cálculo de alumbrado, según el artículo 220.12, tabla 220.12 y 220.14(J) del NEC 2008, se toma en cuenta los metros cuadrados de vivienda y se multiplican por un factor de demanda de 33 voltamperios por metro cuadrado.

- Área efectiva de $660 \text{ m}^2 \times 33 \text{ voltamperios/m}^2 = 21\,780$
- Carga instalada 21 780 voltamperios.

Cargas de circuitos de baños.

Este circuito según el artículo 210.11(C)(3) del NEC 2008 especifica que por cada circuito de baños se debe calcular a 1500 voltamperios. En este caso, se consideró un circuito para baños.

Circuito 1 de baños contempla el baño A, baño B, C, D y baño del cuarto mecánico.

- 1 circuitos x 1500 voltamperios = 1500 voltamperios
- Carga instalada 1500 voltamperios.

Cargas de circuitos de electrodomésticos pequeños.

Según el artículo 220.52(A) del NEC 2008, se deben tomar en cuenta mínimo dos circuitos de 1500 voltamperios para electrodoméstico pequeños como, por ejemplo, microondas, triturador, lavadora de platos, etc.

Para este diseño, se tomaron en cuenta 3 circuitos de electrodomésticos pequeños.

- 3 circuitos x 1500 voltamperios = 4500 voltamperios

- Carga instalada 4500 voltamperios.

Carga de circuitos de lavandería.

El artículo 220.52(B) del NEC 2008 establece que se debe incluir un circuito ramal bifilar de no menos de 1500 voltamperios para servicio de lavandería, que incluye también el planchado.

- 1 circuito x 1500 voltamperios = 1500 voltamperios
- Carga instalada 1500 voltamperios.

Factor de demanda iluminación y tomas.

Se aplican los factores de demanda según la tabla 220.42 del NEC 2008 para unidades de vivienda. Los primeros 3000 voltamperios se calculan al 100%, de 3001 a 120 000 voltamperios al 35% y a partir de 120 000 se calculan al 25%.

- Carga total instalada
 - Circuitos de alumbrado y tomas = 21 780 voltamperios
 - Circuitos de baños = 1500 voltamperios
 - Circuitos de electrodomésticos pequeños = 4 500 voltamperios
 - Circuito de lavandería = 1 500
 - Total de carga instalada = 29 280 voltamperios
- Aplicando factor de demanda
 - 3 000 voltamperios al 100% = 3 000 voltamperios
 - 26 280 voltamperios al 35% = 9 198 voltamperios
 - Total de carga demandada = 12 198 voltamperios.

Salidas fijas.

Para cargas fijas, se permite aplicar un factor de demanda del 75% según el artículo 220.53 del NEC.

- Refrigeradora = 500 voltamperios

- Tanque de agua caliente marca Rheem = 5500 voltamperios
- Lavaplatos (Whirlpool WDF110PAB) = 2400 voltamperios
- Extractor de grasa (Frigidaire FHWC3040MS) = 216 voltamperios
- Bomba de riego ½ HP, 127 voltios = 1245 voltamperios
 - Este dato se calcula de la tabla 430.248 del NEC 208 que dicta que la corriente de plena carga para un motor de ½ HP a 127 voltios es de 9.8 amperios. Para obtener la potencia, se multiplica 9.8 amperios por 127 voltios para un resultado de 1244.6 voltamperios
- Bomba de la fuente ¾ HP, 220 voltios = 1518 voltamperios
 - Este dato se calcula de la tabla 430.248 del NEC 208 que dicta que la corriente de plena carga para un motor de ¾ HP a 220 voltios es de 6.9 amperios. Para obtener la potencia, se multiplica 6.9 amperios por 220 voltios para un resultado de 1518 voltamperios
- Bomba piscina 1 HP, 230 voltios = 1840 voltamperios.
 - Este dato se calcula de la tabla 430.248 del NEC 2008 que dicta que la corriente de plena carga para un motor de 1 HP a 230 voltios es de 8 amperios. Para obtener la potencia, se multiplica 8 amperios por 230 voltios para un resultado de 1840 voltamperios
- Total de carga instalada 13219 voltamperios
 - Aplicando el 75% del factor de demanda. $13219 \text{ voltamperios} \times 75\% = 9914.25$ voltamperios de carga demandada.

Circuito de secadora.

Para unidades de vivienda, el circuito de secadora se debe diseñar a 5 000 voltamperios según el artículo 220.54 del NEC 2008. Se aplica un factor de demanda del 100% cuando hay de 1 a 4 secadoras.

En esta vivienda, se va a utilizar una secadora de ropa Whirlpool, modelo 7MWGD1800EM, con una tensión de alimentación de 110-127 voltios de corriente alterna y una corriente de consumo de 6 amperios.

- 1 circuito x 5 000 voltamperios = 5 000 voltamperios de carga demandada.

Circuitos de cocción.

Se calcula con respecto al artículo y tabla 220.55 del NEC 2008.

En este caso, se va a instalar una cocina tipo “Cooktop” modelo KICU509XSS de la marca KitchenAid. Esta cocina consume 9 600 voltamperios.

Basado en el artículo 220.55, columna “C” para un solo electrodoméstico de cocción con una carga que sea menor a 12 000 voltamperios se calcula a 8 000 voltamperios.

- Carga instalada 9 600 voltamperios
- Carga demandada 8 000 voltamperios.

Motor más grande.

Según el artículo 220.50 del NEC 2008 que trata sobre motores, se debe aplicar un factor de demanda del 25% sobre el motor más grande.

- Bomba piscina 1 HP, 230 voltios = 1840 voltamperios x 25% = 460 voltamperios.

Seleccionar el aire acondicionado.

Hay muchas maneras de seleccionar el aire acondicionado para una vivienda. Esto va a depender de qué tan exacto se desee dicho cálculo. Para efectos de este diseño electromecánico, se van a tomar en cuenta los parámetros y los cálculos sencillos que ofrecen los fabricantes y las diferentes compañías. Se comparan cuatro diferentes fuentes que permitan generar un mejor criterio.

Método número 1.

Este dato ha sido tomado de la calculadora de frigorías de Low Cost Clima. Se puede ingresar gratuitamente a esta calculadora por medio del siguiente enlace <https://www.calculadorafrigorias.com/>.

Los parámetros que se toman en cuenta para este cálculo son:

- Metros cúbicos de la habitación
- Cantidad de personas en la habitación
- Si la vivienda es muy calurosa.

Tabla 6. Cálculo de frigorías según Low Cost Clima

Cuarto	Área en metros cuadrados	Altura	Superficie en metros cúbicos	Cantidad de personas en la habitación	Vivienda calurosa	Frigorías requeridas	BTU requeridos
A	29	2.6	75.4	2	Sí	2895	11488.1
B	29	2.6	75.4	2	Sí	2895	11488.1
C	20	2.6	52	2	Sí	2104	8349.2
D	22	2.6	57.2	2	Sí	2274	9023.8
Televisión	15	2.6	39	4	Si	2053	8146.8

Nota: Elaboración propia.

Método número 2.

Dato tomado de la calculadora de BTU de Total Home Supply. Se puede ingresar gratuitamente a esta calculadora por medio del siguiente enlace <https://www.totalhomesupply.com/air-conditioner-btu-calculator/>.

Los parámetros que se toman en cuenta para este cálculo son:

- Metros cúbicos de la habitación
- Número de ventanas por donde se pueda escapar el aire acondicionado y que influyan en la transferencia de calor
- El tipo de habitación.

Tabla 7. Cálculo de frigorías según Total Home Supply

Cuarto	Área en metros cuadrados	Altura	Superficie en metros cúbicos	Cantidad de ventanas en la habitación	Tipo de habitación	Frigorías requeridas	BTU requeridos
--------	--------------------------	--------	------------------------------	---------------------------------------	--------------------	----------------------	----------------

A	29	2.6	75.4	2	Dormitorio	2696.7	10701.0
B	29	2.6	75.4	2	Dormitorio	2696.7	10701.0
C	20	2.6	52	2	Dormitorio	1792.7	7114.0
D	22	2.6	57.2	2	Dormitorio	2016.8	8003.0
Televisión	15	2.6	39	1	Sala	1386.0	5500.0

Nota: Elaboración propia.

Comparación número 3.

Este cálculo es un método básico para calcular de forma sencilla los BTU necesarios para enfriar una habitación. Esta fórmula fue tomada del blog de Miguel Ángel González sobre cómo calcular la capacidad de un aire acondicionado.

Los parámetros que se toman en cuenta para este cálculo son:

- Metros cúbicos de la habitación
- Cantidad de personas o equipos en la habitación
- La ecuación está dada por la fórmula $C = 230 \times V + (\#PyE \times 476)$.

Tabla 8. Cálculo de frigorías según fórmula de Miguel González

Cuarto	Área en metros cuadrados	Altura	Superficie en metros cúbicos	Cantidad de personas en la habitación	Cantidad de equipos eléctricos en la habitación	Frigorías requeridas	BTU requeridos
A	29	2.6	75.4	2	1	4730.0	18770.0
B	29	2.6	75.4	2	1	4730.0	18770.0
C	20	2.6	52	2	1	3373.8	13388.0
D	22	2.6	57.2	2	1	3675.2	14584.0
Televisión	15	2.6	39	4	3	3100.1	12302.0

Nota: Elaboración propia.

Método número 4.

Dato tomado de la calculadora de frigorías del fabricante Carrier. Se puede ingresar gratuitamente a esta calculadora por medio del siguiente enlace <https://www.carrier.com.ar/calculador-de-frigorias/>. Este método abarca más factores que pueden

provocar que el sistema de aire acondicionado no sea suficiente para enfriar los diferentes recintos.

Los parámetros que se toman en cuenta para este cálculo son:

- Clima donde se ubica la habitación; depende de si es templado, cálido o muy cálido
- Tipo de edificio
- Tipo de habitación
- Volumen en metros cúbicos de la habitación
- Tipo de techo que tiene
- Tipo de suelo donde está ubicada la habitación
- Paredes y ventanas que dan al exterior
- Orientación del dormitorio con respecto los puntos cardinales
- Número de personas que usualmente están en la habitación
- Tipo e intensidad de iluminación
- Cantidad y tipo de equipos eléctricos dentro de la habitación.

Tabla 9. Cálculo de frigorías según fabricante Carrier

Cuarto	Área en metros cuadrados	Altura	Superficie en metros cúbicos	Vivienda calurosa	Tipo de edificio	Tipo de habitación	Tipo de techo
A	29	2.6	75.4	Sí	Nuevo	Dormitorio	Tejado
B	29	2.6	75.4	Sí	Nuevo	Dormitorio	Tejado
C	20	2.6	52	Sí	Nuevo	Dormitorio	Tejado
D	22	2.6	57.2	Sí	Nuevo	Dormitorio	Tejado
Televisión	15	2.6	39	Sí	Nuevo	Sala	Tejado
Cuarto	Tipo de suelo	Área de ventanas	Cantidad de personas	Tipo de luz e intensidad de iluminación	Equipos en el recinto	Frigorías requeridas	BTU requeridos

A	Sólido	28.44	2	LED/Intensidad media	1	6085	24146.8
B	Sólido	28.44	2	LED/Intensidad media	1	6085	24146.8
C	Sólido	23.4	2	LED/Intensidad media	1	4484	17793.7
D	Sólido	24.7	2	LED/Intensidad media	1	4930	19563.5
Televisión	Sólido	10.92	4	LED/Intensidad media	3	3123	12392.9

Nota: Elaboración propia.

En la tabla siguiente, se hace una comparación de los resultados en BTU que proporcionó cada método o calculadora de frigorías.

Tabla 10. Cuadro resumen de resultados en BTU

Cuarto	Método 1	Método 2	Método 3	Método 4
A	11488.1	10701.0	18770.0	24146.8
B	11488.1	10701.0	18770.0	24146.8
C	8349.2	7114.0	13388.0	17793.7
D	9023.8	8003.0	14584.0	19563.5
Televisión	8146.8	5500.0	12392.9	12302.0
Valores en BTU				

Nota: Elaboración propia.

Con base en los diferentes métodos, se observa cómo los resultados obtenidos difieren unos de otros en función de las variables que se consideraron para cada cálculo. En el método 1, la calculadora que ofrece Low Cost Clima toma en cuenta el volumen del lugar donde se va a instalar el equipo y la cantidad de personas en dicho recinto mientras que, en el método 2, la calculadora que ofrece Total Home Supply evalúa la cantidad de ventanas por donde se puede escapar el aire frío, el volumen del recinto y el tipo de habitación, que en este caso son dormitorios y un salón de televisión.

Ahora bien, el método 3 es una fórmula que usa el volumen del recinto para multiplicarlo por un factor que relaciona la temperatura ambiente promedio de alrededor de unos 40 grados Celsius. También considera los equipos y las personas que usualmente habitan el dormitorio y lo multiplica por un factor de pérdidas aportadas por cada uno de ellos. Mientras que, en el método 4, el cálculo que ofrece Carrier —un fabricante de sistemas de climatización— es un método

bastante completo que considera muchas variables, entre ellas: el volumen del recinto, la cantidad de personas y los equipos que pueda haber en dicho recinto, el tipo de vivienda, dónde está ubicada y el tipo de clima que hay en esa región, incluso toma en cuenta el tipo de iluminación. Todas estas variables juegan un papel muy importante para la selección del aire acondicionado para que el sistema no se quede corto y de esta manera sea más eficiente. Esta calculadora de BTU es mucho más completa que los métodos 1, 2 y 3.

Uno de los factores más importantes para seleccionar la capacidad del aire acondicionado es el volumen del recinto que se quiere climatizar. Sin este cálculo no se podría seleccionar un sistema eficiente; puesto que, si se elige un sistema de aire acondicionado muy pequeño para un lugar muy grande, no se podría ajustar a las necesidades o las condiciones requeridas y la unidad trabajaría en exceso; por lo tanto, su vida útil también se vería afectada y consumiría electricidad todo el tiempo tratando de mantener el recinto acondicionado a la temperatura deseada. Por el contrario, si la unidad es demasiado grande para un recinto pequeño, esta habitación se enfriaría en exceso y de manera desigual.

Otros factores importantes que tomar en cuenta cuando se selecciona una unidad de aire acondicionado son el número de personas que usualmente utilizan dicho recinto, fuentes de calor que aumenten la temperatura como los televisores, luces, consolas de videojuegos, etc. Se debe considerar si el recinto se encuentra en un lugar caliente, muy caliente o frío, puesto que esta variante agrega una mayor transferencia de calor al sistema. Sabiendo los factores más importantes que se deben analizar en la selección de una unidad de aire acondicionado y comparando los resultados y las variantes que utilizan algunos fabricantes o los diferentes métodos, se considera que el cálculo realizado por Carrier es el más exacto para escoger la unidad de climatización, puesto que este método incluye más variantes. Por lo tanto, los aires acondicionados escogidos por cada recinto son:

Tabla 11. Modelos escogidos para climatización

	Capacidad de BTU requerida	Capacidad de BTU aportada	Marca del aire acondicionado	Modelo interior	Modelo exterior	Potencia consumida en watts
A	24146.8	24000 (5000~24000)	Carrier	42QHC024DSW	42QHC024DSW	2080.0
B	24146.8	24000 (5000~24000)	Carrier	42QHC024DSW	42QHC024DSW	2080.0
C	17793.7	18000 (2800~19800)	Carrier	42QHC018DSW	38QHC018DSWP	1550.0
D	19563.5	18000 (2800~19800)	Carrier	42QHC018DSW	38QHC018DSWP	1550.0
Televisión	12302.0	12000 (1700~13000)	Carrier	42QHC012ESW	38QHC012ESWP	1080.0
Total	97952.8	n/a	n/a	n/a	n/a	8340.0

Nota: Elaboración propia.

Circuitos de climatización.

Este circuito se diseña basado en el artículo 220.82 (C) (1) que indica que se deben tomar en cuenta el 100% de los valores nominales de la placa de características de aire acondicionado.

- 2 unidades x 2 080 voltamperios = 4 160 voltamperios
- 2 unidades x 1 550 voltamperios = 3 100 voltamperios
- 1 unidad x 1 080 voltamperios = 1 080 voltamperios
 - Carga instalada = 8 340 voltamperios
 - Carga demandada calculada al 100% = 8 340 voltamperios.

Cálculo de acometidas, tierra y neutro.

De acuerdo con el artículo 220.61 del NEC 2008, se permite aplicar un factor de demanda del 70% a ciertos circuitos como los de cocción y secadoras. Para el resto de los circuitos, se toma el 100% de la carga demandada para el cálculo del neutro.

En el caso del tanque de agua caliente, este no lleva neutro; por lo tanto, no se calcula.

- En el caso de sistemas de iluminación, tomas, electrodomésticos pequeños y lavandería para el cálculo del neutro se toma el 100% de la carga demandada, por lo tanto, sería un total de 12 198 voltamperios
- Para salidas fijas, no se toma el tanque de agua caliente que no lleva neutro. En cuanto a los circuitos de refrigeradora, lavaplatos, extractor de grasa, bomba de riego, fuente y piscina se aplica un 75% de demanda. Por lo tanto, se sumaría $500 + 2400 + 216 + 1245 + 1518 + 1840$ para un subtotal de 7 719 voltamperios, aplicando el factor del 75% se obtiene un total para un valor de 5 789.25 voltamperios
- Para circuitos de secadora y cocción, se aplica un 70% de la carga demandada. La carga demandada del circuito de secadora es de 5 000 voltamperios, aplicando el factor del 70% se obtiene una carga para el neutro de 3 500 voltamperios. El circuito de cocción tiene una carga demandada de 8 000 voltamperios, aplicando el factor del 70% se obtiene una carga para el neutro de 5 600 voltamperios.
- Finalmente, para los circuitos de motor más grande y climatización, se toma el 100% de la carga demandada para un total de 460 para el cálculo del motor más grande y 8340 voltamperios para la sumatoria de los aires acondicionados.

Tabla 12. Resumen de carga instalada, carga demandada y neutro

Circuitos	Carga instalada en voltamperios	Carga demandada en voltamperios	Neutro en voltamperios
Iluminación y tomas	21780	12198	12198
Baños	1500		
Electrodomésticos pequeños	4500		
Lavandería	1500		
Subtotal	29280		
Salidas fijas			
Tanque de agua caliente	5500	9914.25	5789.25
Refrigeradora	500		
Lavaplatos	2400		
Extractor de grasa	216		

Bomba de riego ½ HP, 127 voltios	1245		
Bomba de la fuente ¾ HP, 220 voltios	1518		
Bomba piscina 1 HP, 230 voltios	1840		
Subtotal	13219		
Secadora	5000	5000	3500
Cocción	9600	8000	5600
Motor más grande	0	1840	460
Climatización	8340	8340	8340
Total	65439	45292.25	35887.25

Nota: Elaboración propia.

Cálculo de los calibres de acometida, tierra y neutro.

Las fases y el conductor neutro se calculan con base en la corriente que va a pasar por los conductores aislados para tensiones nominales de 0 a 2 000 voltios y 60 grados Celsius a 90 grados Celsius. No debe haber más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra.

Para determinar el calibre del conductor, se toma la carga demandada en voltamperios y se divide por el voltaje que se va a suministrar a la vivienda; en este caso, es de 220 voltios. Lo mismo se hace para el calcular el neutro, se divide la carga en voltamperios por 220 voltios. La corriente obtenida en los dos casos es la que va a indicar el calibre del cable a instalar de acuerdo con la tabla 310.16 del NEC 2008.

Para el conductor a tierra, se utiliza el artículo 250.66 del NEC 2008.

- Fases: 45 292.25 voltamperios dividido entre 240 voltios = 188.72 amperios
 - Tabla 310.16 conductores de cobre para temperaturas de 75 grados Celsius. El conductor para fases recomendado es 3/0AWGTHHNCU, puesto que este conductor puede manejar hasta 200 amperios
- Neutro: 36 412.25 voltamperios dividido entre 240 voltios = 151.72 amperios

- Tabla 310.16 conductores de cobre para temperaturas de 75 grados Celsius. El conductor para neutro recomendado es 2/0AWGTHHNCU, puesto que este conductor puede manejar hasta 175 amperios
- Tierra: Con base en el calibre de la fase 3/0AWGTHHNCU, se calcula el conductor que debe ir instalado en la puesta a tierra
 - Tabla 250.66, conductores de cobre de 2/0 o 3/0 deben llevar un conductor para tierra calibre 4. Por lo tanto, el cable a usar es el 4AWGTHHNCU. Este conductor puede manejar hasta 85 amperios.

Cálculo de fusibles e interruptor automáticos de disparo fijo.

Se toma en cuenta la corriente máxima medida en amperios que pueden manejar los calibres de los conductores escogidos para fases y con base en el artículo 240.6 del NEC 2008, se busca un interruptor comercial que pueda manejar esas ampacidades. En la tabla 13, se describe el conductor fase, la corriente máxima y el interruptor de protección recomendado.

Tabla 13. Interruptor recomendado

	Tipo de cable	Calibre de cable (AWG)	Material del conductor	Modelo completo del conductor	Corriente máxima	Interruptor de protección
Fases	THHN	3/0	Cobre (Cu)	3/0AWGTHHNCU	200	200

Nota: Elaboración propia

Para los fusibles de las fases, se utilizan dos interruptores de 200 amperios.

La siguiente tabla resume los conductores que se requieren para la instalación eléctrica, también se detalla la corriente máxima.

Tabla 14. Resumen de los conductores para fases, tierra y neutro

	Tipo de cable	Calibre de cable (AWG)	Material del conductor	Modelo completo del conductor	Corriente máxima	Interruptor de protección
Fases	THHN	3/0	Cobre (Cu)	3/0AWGTHHNCU	200	200
Neutro	THHN	2/0	Cobre	2/0AWGTHHNCU	175	n/a

			(Cu)			
Tierra	THHN	4	Cobre (Cu)	4AWGTHHNCU	85	n/a

Nota: Elaboración propia.

Cálculo de caída de tensión en circuitos ramales y acometida.

El artículo 210.19 (A)(1) detalla en la nota número 4 que la caída máxima de tensión de los circuitos alimentador y ramal hasta la salida más lejana no supere el 5%. Como criterio, se usa una caída de tensión máxima del alimentador del 2% y para el ramal o final del circuito de un 3% máximo para un total del 5%. Para el cálculo de la caída de tensión y el porcentaje de caída de tensión, se emplean las fórmulas 9 y 10 que se detallan abajo.

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

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

Donde:

ΔV = Caída de tensión.

$\Delta V\%$ = Porcentaje de caída de tensión.

R = Resistividad del conductor en Ohmios por metro (Ω/km).

I = Corriente monofásica del conductor en amperios (A).

L = Distancia del conductor desde en pies (km).

120 o 240 = Según el voltaje que ocupe el dispositivo.

Si se toman los circuitos de iluminación, estos se van a dividir en 5 circuitos no tanto por la carga que manejan los ramales, sino por seguridad y beneficios. En caso de fallo de un circuito o reparación, solamente un sector de la casa quedaría sin iluminación. Serán tres circuitos de iluminación en la casa y un circuito de iluminación exterior y un circuito que incluye la piscina y la fuente.

Para calcular la caída de tensión en uno de los circuitos de iluminación primero se calcula la carga instalada de todas las luminarias. Según el diseño en el circuito 22 de iluminación exterior, hay una carga instalada de 1 000 watts de potencia con luminarias que operan a 120 voltios de corriente alterna.

Una vez que se tiene la carga el segundo paso es se tomar la carga instalada de 1 000 watts y se divide entre 120 voltios para obtener la corriente que en este caso sería de 8.33 amperios. La resistividad del conductor se toma de la tabla 8 (página 787) del NEC 2008. Para un conductor calibre 10 de cobre, la resistividad es de 4.226 ohmio/km. Mientras la distancia desde la caja o tablero eléctrico hasta la lámpara más alejada es de aproximadamente 55 metros. Una vez que se tienen todos los datos, se colocan en las fórmulas.

$$\Delta V = \frac{2 \times 4.226 \times 55 \times 8.33}{1000} = 3.87 \text{ voltios}$$

$$\Delta V\% = \frac{3.872}{120} \times 100 = 3.22 \%$$

De la misma manera, se calculan los demás circuitos de la casa. La descripción de los circuitos se detalla en la tabla 14 y el cálculo de la caída de tensión en la tabla 15.

Tabla 15. Descripción de los circuitos del tablero principal

Circuito	Descripción	Conductores portadores de corriente	Protecciones Polos	Protecciones amperios	Material del conductor	Canalización
1	TOMAS CUARTOS C Y D	10 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
2 y 4	COCINA	8 AWG THHN	2	50	COBRE	PVC
3	TOMAS CUARTOS A Y B	10 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
5	TOMAS BAÑOS	10 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
6 y 8	SECADORA	8 AWG THHN	2	40	COBRE	PVC
7	TOMAS SALA	10 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
9	TOMAS COCINA #1 ELEC VARIOS	10 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
10 y 12	AIRE ACONDICIONADO CUARTO C	12 AWG THHN	2	20	COBRE	PVC
11	TOMAS COCINA #2 EXTRACTOR	12 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
13	TOMAS CUARTO ELECTRICO	12 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
14 y 16	AIRE ACONDICIONADO CUARTO D	12 AWG THHN	2	20	COBRE	PVC
17	TOMAS BODEGA	12 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
18 y 20	BOMBA POTABLE	10 AWG THHN	2	30	COBRE	PVC
19	TOMAS LAVANDERIA	12 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
21	TOMAS SALA TV	12 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC

22	ILUMINACION EXTERIOR	10 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
23	TOMAS EXTERIORES	10 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
24	ILUMINACION INTERIOR	10 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
25	TOMA COCHERA	10 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
26	ILUMINACION PASILLOS Y FUENTE	10 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
27	TOMA LAVAPLATOS	12 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
28	ILUMINACION COCINA	12 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
29	TOMA MICROONDAS	12 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
30	ILUMINACION INTERIOR 2	12 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
31	TOMA REFRIGERADORA	12 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
32 y 34	AIRE ACONDICIONADO CUARTO A	12 AWG THHN	2	20	COBRE	PVC
35 y 37	TANQUE DE AGUA CALIENTE	8 AWG THHN	2	40	COBRE	PVC
36 y 38	AIRE ACONDICIONADO CUARTO B	12 AWG THHN	2	20	COBRE	PVC
39 y 41	AIRE ACONDICIONADO CUARTO TV	12 AWG THHN	2	20	COBRE	PVC
A	ACOMETIDA	3/0 AWG THHN	2	200	Cobre	PVC

Nota: Elaboración propia.

Tabla 16. Cálculo de caída de tensión del tablero principal

Circuito	Descripción	Voltaje (Vac)	Corriente (A) en los conductores	Resistividad del conductor (ohm/km)	Distancia en metros (L)	Caída de tensión en voltios	Porcentaje de caída de tensión en voltios
1	TOMAS CUARTOS C Y D	120	9.0	4.2	49.0	3.7	3.1
2 y 4	COCINA	240	40.0	2.7	15.0	3.2	1.3
3	TOMAS CUARTOS A Y B	120	8.0	4.2	58.0	3.9	3.3
5	TOMAS BAÑOS	120	12.5	4.2	38.0	4.0	3.3
6 y 8	SECADORA	240	20.8	2.7	10.0	1.1	0.5
7	TOMAS SALA	120	12.5	4.2	31.0	3.3	2.7
9	TOMAS COCINA #1 ELEC VARIOS	120	12.5	4.2	16.0	1.7	1.4
10 y 12	AIRE ACONDICIONADO CUARTO C	240	9.7	6.7	30.0	3.9	1.6
11	TOMAS COCINA #2 EXTRACTOR	120	12.5	6.7	14.0	2.4	2.0
13	TOMAS CUARTO ELECTRICO	120	12.5	6.7	15.0	2.5	2.1
14 y 16	AIRE ACONDICIONADO CUARTO D	240	9.7	6.7	40.0	5.2	2.2
17	TOMAS BODEGA	120	12.7	6.7	10.0	1.7	1.4
18 y 20	BOMBA POTABLE	127	9.8	4.2	10.0	0.8	0.7
19	TOMAS LAVANDERIA	120	12.5	6.7	10.0	1.7	1.4
21	TOMAS SALA TV	120	12.5	6.7	15.0	2.5	2.1
22	ILUMINACION EXTERIOR	120	8.3	4.2	55.0	3.9	3.2
23	TOMAS EXTERIORES	120	10.0	4.2	45.0	3.8	3.2
24	ILUMINACION INTERIOR	120	12.5	4.2	36.0	3.8	3.2
25	TOMA COCHERA	120	12.5	4.2	34.0	3.6	3.0
26	ILUMINACION PASILLOS Y FUENTE	120	12.5	4.2	35.0	3.7	3.1
27	TOMA LAVAPLATOS	120	12.5	6.7	20.0	3.4	2.8
28	ILUMINACION COCINA	120	12.5	6.7	22.0	3.7	3.1
29	TOMA MICROONDAS	120	12.5	6.7	15.0	2.5	2.1
30	ILUMINACION INTERIOR 2	120	12.5	6.7	20.0	3.4	2.8
31	TOMA REFRIGERADORA	120	12.5	6.7	15.0	2.5	2.1

32 y 34	AIRE ACONDICIONADO CUARTO A	240	11.5	6.7	35.0	5.4	2.3
35 y 37	TANQUE DE AGUA CALIENTE	240	22.9	2.7	15.0	1.8	0.8
36 y 38	AIRE ACONDICIONADO CUARTO B	240	11.5	6.7	40.0	6.2	2.6
39 y 41	AIRE ACONDICIONADO CUARTO TV	240	7.3	6.7	20.0	2.0	0.8
A	ACOMETIDA	240	181.5	0.261	45	4.3	1.8

Nota: Elaboración propia.

Tabla 17 Descripción de los circuitos del tablero de piscina y fuente

Circuito	Descripción	Voltaje (Vac)	Corriente (A) en los conductores	Resistividad del conductor (ohm/km)	Distancia en metros (L)	Caída de tensión en voltios	Porcentaje de caída de tensión en voltios
1	TOMA CLORINADOR	120	8.3	6.6	8.5	0.9	0.8
2 y 4	BOMBA PISCINA	230	8.0	4.2	7.5	0.5	0.2
3	TOMA CONTROL DE BOMBAS	120	8.3	6.6	8.5	0.9	0.8
5	NO EN USO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
6 y 8	BOMBA FUENTE	220	6.9	4.2	7.5	0.4	0.2
7	NO EN USO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
9	NO EN USO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
10	ILUMINAION FUENTE	12	1.5	6.6	22.0	0.4	3.6
12	ILUMINACION PISCINA	12	1.5	6.6	20.5	0.4	3.4
14	ILUMINACION FUENTE PIEDRA	12	1.5	6.6	21.0	0.4	3.4

Nota: Elaboración propia.

Tabla 18 Cálculo de caída de tensión del tablero de piscina y fuente

Circuito	Descripción	Conductores portadores de corriente	Protecciones Polos	Protecciones amperios	Material del conductor	Canalización
1	TOMA CLORINADOR	12 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
2 y 4	BOMBA PISCINA	10 AWG THHN	2	30	COBRE	PVC
3	TOMA CONTROL DE BOMBAS	12 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
5	NO EN USO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
6 y 8	BOMBA FUENTE	10 AWG THHN	2	30	COBRE	PVC
7	NO EN USO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
9	NO EN USO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
10	ILUMINAION FUENTE	12 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
12	ILUMINACION PISCINA	12 AWG THHN	1	20	COBRE	PVC
14	ILUMINACION FUENTE PIEDRA	12 AWG THHN	1	20.0	COBRE	PVC

Nota: Elaboración propia.

Consumos aproximados de la residencia según dispositivos instalados.

Estimar el consumo eléctrico es muy importante tanto para el punto de vista ecológico como el punto de vista financiero, la manera más exacta es utilizando el medidor de consumo general que proveen las compañías de servicio. Estos miden el consumo por horas y envían la facturación al finalizar el mes. Sin embargo, en este proyecto no se tiene consumo todavía, por lo tanto, se tomaron en cuenta diferentes fuentes para la estimación del consumo.

Una de las fuentes fue la Encuesta de Consumo Energético Nacional en el Sector Residencial de Costa Rica, realizada por el Ministerio de Ambiente y Energía en el 2012, la cual indica que en promedio las familias con nivel socioeconómico medio-alto consumen aproximadamente 483,96 kWh al mes, para un estimado anual de 5807,52 kWh. Estas estimaciones se basaron en la información suministrada en las entrevistas sobre tendencias y hábitos de uso de los diferentes electrodomésticos.

Por otra parte, se consultó al Área de Eficiencia Energética de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, donde la señora Viviana Arguedas Gamboa indicó que en una familia de 4 miembros a nivel nacional el consumo de electricidad puede rondar los 250 kWh; sin embargo, es un dato promediado. Si se quisiera analizar el consumo propio, ella recomienda usar la calculadora energética que ofrecen en la página de internet y un desplegable con información sobre los consumos promedio de diferentes electrodomésticos.

El método sugerido por parte del Instituto Costarricense de Electricidad es prácticamente igual al dado por la Compañía Nacional de Fuerza y Luz. La metodología se basa en conocer el valor de la potencia eléctrica expresado en watts y las horas de uso promedio por día, luego se toman los valores y se aplica la siguiente fórmula: Energía Eléctrica (Watts por hora - Wh) = Potencia Eléctrica (W) X tiempo de uso en horas (h). El Instituto Costarricense de Electricidad ofrece una guía para calcular el consumo que incluye tablas de consumo de electrodomésticos.

Todas las fuentes concuerdan que la mejor manera de estimar los consumos es mediante la consulta sobre los hábitos, la frecuencia y los usos de los electrodomésticos, así como la potencia eléctrica que consume cada dispositivo. Por lo tanto, se van a tasar los consumos tomando en consideración el promedio según encuesta del MINAE, estimaciones y recomendaciones del ICE y CNFL, como también la carga demandada según los cálculos del NEC 2008.

La siguiente tabla 17 describe los dispositivos instalados en la residencia, el uso y el consumo energético aproximado por mes, tomando en cuenta los valores nominales de las placas de los equipos seleccionados, valores promediados de las guías dadas por el CNFL y el ICE.

Tabla 19. Consumos aproximados

Electrodomésticos	Modelo	Cantidad	Potencia Watts	Horas de uso mensual	Consumo mensual en Watts
Luminarias	P24971-36 / 30W	66	30	60	118800.00
Luminarias	P25940-36 / 21W	14	21	60	17640.00
Luminarias	P26199-36 / 6.5W	24	6.5	60	9360.00
Luminaria Pentair	640133	14	18	90	22680.00
Tanque de agua caliente con temporizador	Rheem	1	5500	50	275000.00
Laptop	Modelos varios	2	20	40	1600.00
Televisor 1	XBR-55X805E	1	149	60	8940.00
Televisor 2	TC-43FS500L	1	75	90	6750.00
Blue Ray	BDPS3500	1	9.5	10	95.00
Lavadora de ropa	7MWWF90HEFW	1	1100	12	13200.00
Secadora de ropa	7MWGD1800EM	1	660	8	5280.00
Coffee maker	Black & Decker	1	1100	15	16500.00
Horno de microondas	FPBM3077RF	1	1050	5	5250.00
Olla multiuso	Oster 5 litros 4801	1	900	15	13500.00
Licadora	Hamilton Beach	1	350	2	700.00
Batidora	Kitchen Aid	1	325	2	650.00
Sartén eléctrico	Black & Decker	1	1200	16	19200.00
Horno de convección	B&D TO3210SSD	1	1500	8	11250.00
Equipo de sonido	Panasonic	1	150	30	4500.00
Refrigeradora	12 pies, dos puertas	1	500	210	105000.00
Lavaplatos	Whirlpool WDF110PAB	1	2400	4	9600.00
Plancha	Hamilton Beach	1	1100	12	13200.00
Bomba de riego ½ HP	CM050/23M	1	222.16	12	2577.42
Bomba de la fuente ¾ HP	Pentair	1	559.3	120	67116.00

Bomba piscina 1 HP	Pentair	1	745.7	120	89484.00
Aire acondicionado 1	42QHC024DSW	2	2080	38	156000.00
Aire acondicionado 2	38QHC018DSWP	2	1550	38	116250.00
Aire acondicionado 3	38QHC012ESWP	1	1080	38	40500.00
Abanico	P2522-09	5	60	239	14370.00
Cocina	KICU509XSS	1	9600	15	144000.00
Total					1308992.42

Nota: Elaboración propia.

Para tener una idea de cuánta energía eléctrica se consume al día, se toma el 100% de la carga mensual que es de 130 8992.42 watts y se divide entre la cantidad de días que tiene el mes.

Tabla 20. Consumo aproximado

Mes	Cantidad de días del mes	Consumo estimado mensual en kilowatts	Consumo estimado diario en watts
Enero	31	1308.99	42.23
Febrero	28	1308.99	46.75
Marzo	31	1308.99	42.23
Abril	30	1308.99	43.63
Mayo	31	1308.99	42.23
Junio	30	1308.99	43.63
Julio	31	1308.99	42.23
Agosto	31	1308.99	42.23
Setiembre	30	1308.99	43.63
Octubre	31	1308.99	42.23
Noviembre	30	1308.99	43.63
Diciembre	31	1308.99	42.23
Anual	365	15707.9	n/a

Nota: Elaboración propia.

Radiación solar.

Para determinar la radiación solar en playa Dominical, donde se encuentra ubicada la residencia, se utiliza la base de datos de la NASA llamada “POWER Surface Meteorology and Solar Energy (SSE) - NASA” y basa sus datos en la longitud y la latitud del lugar.

En este caso, la residencia se encuentra ubicada en Dominical de Puntarenas, que según el mapa de Google está aproximadamente en las coordenadas $9^{\circ} 15' 0''$ N, $83^{\circ} 52' 0''$ W; en decimal 9.25° , -83.866667° . Estos datos se ingresaron en la herramienta que se muestra en la figura 26 y se obtuvieron los datos de la tabla 18, donde detalla la radiación solar medida en $\text{kW-h/m}^2/\text{día}$ de los 12 meses del año desde el 2010 hasta el 2017.

Figura 31. Localización aproximada de Dominical

Nota: POWER Surface Meteorology and Solar Energy (SSE) – NASA.

Tabla 21. Radiación solar en Dominical

LAT.	LON.	AÑO	EN	FE	MA	AB	MY	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI	ANUAL
9.25691	83.85099	2010	4.4	4.5	4.9	4.2	4.0	3.9	4.0	3.9	3.7	3.6	3.2	3.4	4.0
9.25691	83.85099	2011	4.0	4.7	5.1	4.6	4.2	4.0	4.0	4.2	4.1	3.2	3.5	3.4	4.1
9.25691	83.85099	2012	4.4	5.0	4.9	4.6	4.2	4.2	3.9	4.3	4.2	3.5	3.4	3.8	4.2

9.25691	83.85099	2013	4.5	5.1	4.8	4.5	4.0	3.8	4.0	3.8	3.9	3.7	4.0	4.3	4.2
9.25691	83.85099	2014	4.5	5.3	5.2	4.2	4.1	4.0	4.1	3.9	4.2	3.6	3.8	3.6	4.2
9.25691	83.85099	2015	4.2	4.9	5.1	4.8	3.6	3.8	3.9	4.1	3.9	4.1	4.0	4.3	4.2
9.25691	83.85099	2016	4.8	5.1	5.3	4.6	4.3	4.0	3.8	3.9	3.9	3.8	3.1	3.8	4.2
9.25691	83.85099	2017	4.5	4.8	5.0	4.9	3.6	3.6	3.7	3.9	3.9	3.4	3.2	4.0	4.0
Promedio			4.4	4.9	5.0	4.5	4.0	3.9	3.9	4.0	4.0	3.6	3.5	3.8	4.1
(kW-h/m ² /día)															

Nota: POWER Surface Meteorology and Solar Energy (SSE) – NASA.

El cálculo del sistema fotovoltaico se va a realizar con base en los datos promediados de los últimos 7 años; y se calculará con respecto al mes de menor consumo que sería noviembre con una irradiación solar de 3.52 kWh/m² día. Este dato es conocido como la hora solar pico promedio diaria (hsp).

La razón por la que se usa el mes de menor irradiación es para garantizar que supla las necesidades de consumo de la residencia cuando la irradiación es más baja durante el año. De igual manera, en los meses de mayor irradiación, se va a generar mucha más energía que se va a aprovechar e inyectar a la red para meses futuros cuando la generación es menor.

Cálculo del número de paneles solares.

Para el cálculo de los módulos necesarios para la generación de energía, se utilizan los módulos de la marca Canadian Solar, modelo CS6U325P, los cuales brindan un desempeño del 96% durante los primeros años de uso (ver ficha técnica en el anexo A). Estos módulos generan una potencia de salida de alrededor de 0.325 kilowatts. Son de los paneles que mejor desempeño tiene en el mercado, son trabajados por diferentes empresas en Costa Rica y su precio es bastante competitivo con respecto a otros similares.

El cálculo de la cantidad de paneles solares necesarios para suplir la demanda energética está dado por la siguiente fórmula 15 descrita en el marco teórico.

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

Donde:

NP = Número de paneles necesarios.

E = Consumo energético en kilowatts por día.

0.96 = Eficiencia de los módulos según fabricante.

W_p = Potencia pico del módulo medido en kilowatts.

H_{sp} = Hora pico solar en kWh/m² día.

Si se toma en cuenta el mes de menor irradiación solar del año 2017, se obtiene que en noviembre se registró una irradiación solar de 3.52 kWh/m² día. El consumo energético estimado de la residencia es de 43.63 kWh por día durante noviembre con base en los datos de la tabla 17, los paneles tienen una eficiencia de 96% y cada módulo puede entregar hasta un máximo de 0.325 kilowatts. Sustituyendo los valores en la fórmula 15, se obtiene el siguiente dato:

$$NP = \frac{43.6}{0.96 * 0.325 * 3.52} = 39.73 \text{ paneles}$$

El total de paneles sería de 39.73 paneles, este valor se redondea a 40 paneles solares. Dicho cálculo se realiza para todos los meses del año y claramente en meses con una irradiación mayor a 3.52 kWh/m² día, la generación eléctrica también será mayor.

Es importante también estimar la carga instalada de los 40 paneles solares. Estos pueden entregar hasta 0.325 kilowatts cada uno, mientras el conjunto puede ofrecer hasta 13 kilowatts. Este dato se va a usar para calcular la cantidad de energía eléctrica que se puede generar por cada mes dependiendo de la hora solar piso (h_{sp}) de dichos meses. Se multiplican las horas pico por la carga instalada y por los días del mes. Si se considera enero con un h_{sp} de 4.4 y se multiplica por 13 kilowatts de carga instalada y por 31 días que tiene enero da como resultado 1773.4 kilowatts, esto quiere decir que el sistema fotovoltaico puede generar esa cantidad de energía en un mes. Este cálculo se repite para el resto de los meses.

$$4.4 \text{ hsp} \times 13 \text{ kW} \times 31 \text{ días} = 1773.4 \text{ kW}$$

Cálculo de la generación mensual de los paneles solares.

Para obtener mejor balance entre generación fotovoltaica y economía considerando la inversión inicial, el ahorro basado en generación fotovoltaica, el tiempo de vida útil, entre otras,

se tomarán en cuenta diferentes casos de estudio para buscar el óptimo. La generación de energía se estudia con base en el consumo energético del 125%, 100%, 75%, 50% y también el 100% del área de techos.

Caso 1. Cantidad de paneles solares considerando 125% de generación.

En este caso, se diseña el sistema fotovoltaico considerando la generación al 100% del mes de menor irradiación solar para garantizar que se pueda cubrir la demanda anual. Este sistema queda sobredimensionado debido que hay meses con mayor irradiación solar que van a permitir una generación extra.

Según los datos de la tabla 23, el total de 40 paneles solares en un año pueden generar un total de 19,585.52 kilowatts de energía eléctrica, mientras la demanda de energía eléctrica de la residencia es de 15,707.9 según la tabla 20. Con los datos de la generación y el consumo anual, se calcula el porcentaje de la potencia entregada por el sistema fotovoltaico, donde se divide la potencia entregada por el sistema fotovoltaico; se divide entre la demanda de electricidad de la residencia y se multiplica por 100 para obtener el resultado en términos de porcentaje.

$$\text{Porcentaje de entrega} = \frac{19585.42}{15707.9} * 100 = 124.69\%$$

Con base en la fórmula 15 y el ejemplo anterior sobre cálculo del número de paneles solares, se debe calcular la cantidad de módulos fotovoltaicos que se necesitan para generar el 100% de la energía necesaria por cada mes en la residencia considerando la irradiación solar de dicho mes. A continuación, se detalla en la tabla 22 los cálculos de la generación por mes de acuerdo con la hora pico solares de cada mes según datos de la NASA del 2017. Los datos que se utilizan son los siguientes:

1. Consumo energético diario en kilowatts
2. Eficiencia del sistema de 96%
3. Potencia pico del panel de 0.325 kilowatts
4. Hora pico solar.

Tabla 22. Cantidad de paneles para generación al 100%

Mes	Cantidad de días del mes	Consumo estimado mensual en kilowatts	Consumo estimado diario en kilowatts	Hsp en kWh/m ² día	Cantidad de paneles solares	Redondeo hacia arriba de la cantidad de paneles
Enero	31	1308.99	42.23	4.40	30.76	31
Febrero	28	1308.99	46.75	4.91	30.54	31
Marzo	31	1308.99	42.23	5.02	26.94	27
Abril	30	1308.99	43.63	4.54	30.83	31
Mayo	31	1308.99	42.23	3.99	33.89	34
Junio	30	1308.99	43.63	3.91	35.80	36
Julio	31	1308.99	42.23	3.90	34.70	35
Agosto	31	1308.99	42.23	4.00	33.83	34
Setiembre	30	1308.99	43.63	3.97	35.24	36
Octubre	31	1308.99	42.23	3.61	37.48	38
Noviembre	30	1308.99	43.63	3.52	39.73	40
Diciembre	31	1308.99	42.23	3.82	35.40	36

Nota: Elaboración propia.

Con base en la información de la tabla anterior, el mes crítico es noviembre, cuando se va a necesitar un aproximado de 40 paneles solares para cubrir el 100% de la demanda energética de dicho mes. Si se consideran los 40 paneles y cada uno puede entregar un máximo de 0.325 kilowatts; todos juntos ofrecen una carga instalada total de 13 kilowatts sin tomar en cuenta las horas pico solar de cada mes. Ahora bien, para calcular la generación de los paneles durante cada mes, se toman las horas pico solares (hsp); se multiplican por la carga instalada y los días del mes. Este cálculo mensual se hace con el fin de conocer la generación mensual y anual que potencialmente puede ofrecer el sistema fotovoltaico; estos cálculos se detallan en la tabla 23.

Generación máxima del sistema fotovoltaico.

La tabla 23 muestra la cantidad máxima de energía eléctrica que puede producir el sistema fotovoltaico si se instalan 40 paneles con una generación máxima por panel de 0.325 kilowatts y según la irradiación solar mensual.

Tabla 23. Generación máxima del sistema fotovoltaico

Mes	Cantidad de días del mes	Hsp en kWh/m ² día	Carga instalada en kilowatts	Total de generación en kilowatts
Enero	31	4.40	13.00	1773.20
Febrero	28	4.91	13.00	1785.89
Marzo	31	5.02	13.00	2024.59
Abril	30	4.54	13.00	1769.16
Mayo	31	3.99	13.00	1609.18
Junio	30	3.91	13.00	1523.46
Julio	31	3.90	13.00	1571.70
Agosto	31	4.00	13.00	1612.00
Setiembre	30	3.97	13.00	1547.52
Octubre	31	3.61	13.00	1455.35
Noviembre	30	3.52	13.00	1372.80
Diciembre	31	3.82	13.00	1540.67
Anual				19585.52

Nota: Elaboración propia.

Según la tabla anterior, en el mes de menor irradiación solar, se va a generar un aproximado de 1372.80 kilowatts; mientras que el estimado de consumo en la residencia va a ser de 1308.99 kilowatts por mes. Los 40 paneles suministrarán el 100% del consumo; no obstante, en meses de mayor generación, sobrará energía, como en marzo cuando la irradiación es la mayor. En marzo, se generan aproximadamente 2024.50 kilowatts; por lo tanto, la diferencia entre el consumo y lo generado se va a aprovechar inyectándolo a la red para usos futuros. Al finalizar el año, se estima un consumo de energía eléctrica de 15707.9 kilowatts y una generación de 19585.42 kilowatts; por lo tanto, el sistema está sobredimensionado.

Caso 2. Cantidad de paneles solares considerando 100% de generación.

El cálculo para determinar el número de paneles solares necesarios para cubrir el 100% del consumo de electricidad se describe mediante la siguiente fórmula.

$$\frac{NP}{100\%} = \frac{40}{125\%}$$

$$NP = \frac{40 * 100\%}{125\%} = 32$$

Con base en la fórmula 15 sobre el cálculo del número de paneles solares, se debe calcular la cantidad de módulos fotovoltaicos que se necesitan para generar el 100% de la energía necesaria por cada mes en la residencia considerando la irradiación solar de dicho mes. A continuación, se detalla en la tabla 24 los cálculos de la generación por mes de acuerdo con la hora pico solar de cada mes, según datos de la NASA del 2017. Los datos por considerar son los siguientes:

1. Consumo energético diario en kilowatts
2. Eficiencia del sistema de 96%
3. Potencia pico del panel de 0.325 kilowatts
4. Hora pico solar.

Tabla 24. Cantidad de paneles para generación al 100%

Mes	Cantidad de días del mes	Consumo estimado mensual en kilowatts	Consumo estimado diario en kilowatts	Hsp en kWh/m ² día	Cantidad de paneles solares	Redondeo hacia arriba de la cantidad de paneles
Enero	31	1047.19	33.78	4.40	24.61	25
Febrero	28	1047.19	37.40	4.91	24.43	25
Marzo	31	1047.19	33.78	5.02	21.55	22
Abril	30	1047.19	34.91	4.54	24.66	25
Mayo	31	1047.19	33.78	3.99	27.12	28
Junio	30	1047.19	34.91	3.91	28.64	29
Julio	31	1047.19	33.78	3.90	27.76	28
Agosto	31	1047.19	33.78	4.00	27.07	28
Setiembre	30	1047.19	34.91	3.97	28.20	29
Octubre	31	1047.19	33.78	3.61	29.98	30
Noviembre	30	1047.19	34.91	3.52	31.78	32
Diciembre	31	1047.19	33.78	3.82	28.32	29

Nota: Elaboración propia.

Con base en la información de la tabla anterior, el mes crítico es noviembre, cuando se va a necesitar un aproximado de 32 paneles solares para cubrir el 100% de la demanda energética. Si se consideran los 32 paneles y cada uno puede entregar un máximo de 0.325 kilowatts, entre todos juntos se obtiene una carga instalada total de 10.4 kilowatts sin tomar en cuenta las horas pico solar de cada mes. Ahora bien, para calcular la generación de los paneles durante cada mes, se consideran las horas pico solares (hsp); se multiplica por la carga instalada y los días del mes. Este cálculo mensual se hace con el fin de conocer la generación mensual y anual que potencialmente pueden generar el sistema fotovoltaico; estos cálculos se detallan en la tabla 25.

Generación máxima del sistema fotovoltaico

La tabla 25 muestra la cantidad máxima de energía eléctrica que puede producir el sistema fotovoltaico si se instalan 32 paneles con una generación máxima por panel de 0.325 kilowatts según la irradiación solar mensual.

Tabla 25. Generación máxima del sistema fotovoltaico

Mes	Cantidad de días del mes	hsp en kWh/m ² día	Carga instalada en kilowatts	Total de generación en kilowatts
Enero	31	4.40	10.40	1418.56
Febrero	28	4.91	10.40	1428.71
Marzo	31	5.02	10.40	1619.67
Abril	30	4.54	10.40	1415.33
Mayo	31	3.99	10.40	1287.34
Junio	30	3.91	10.40	1218.77
Julio	31	3.90	10.40	1257.36
Agosto	31	4.00	10.40	1289.60
Setiembre	30	3.97	10.40	1238.02
Octubre	31	3.61	10.40	1164.28
Noviembre	30	3.52	10.40	1098.24
Diciembre	31	3.82	10.40	1232.54
Anual				15668.42

Nota: Elaboración propia.

Según la tabla 25, en el mes de menor irradiación solar, se generará un aproximado de 1098.24 kilowatts; mientras que el estimado de consumo en la residencia va a ser de 1308.99 kilowatts por

mes. Sin embargo, si se analiza el mes de mayor irradiación que sería marzo, los 32 paneles producirán hasta 1619.67 kilowatts; por lo tanto, la energía sobrante se podrá almacenar para retirarla en meses de menor generación. Al finalizar el año, se estima un consumo de energía eléctrica de 15707.9 kilowatts y una generación de 15668.42 kilowatts; por lo tanto, el sistema con 32 paneles solares sería justo, sin sobrantes excesivos ni faltantes.

Caso 3. Cantidad de paneles solares considerando 75% de generación.

El cálculo para determinar el número de paneles solares necesarios para cubrir el 75% del consumo de electricidad se describe mediante la siguiente fórmula.

$$\frac{NP}{75\%} = \frac{40}{125\%}$$

$$NP = \frac{40 * 75\%}{125\%} = 24$$

Con base la fórmula sobre el cálculo del número de paneles solares, se debe calcular la cantidad de módulos fotovoltaicos que se necesitan para generar el 75% de la energía necesaria por cada mes en la residencia considerando la irradiación solar de dicho mes. A continuación, se detalla en la tabla 26 los cálculos de la generación por mes de acuerdo con la hora pico solares de cada mes según datos de la NASA del 2017. Los datos por considerar son los siguientes:

1. Consumo energético diario en kilowatts
2. Eficiencia del sistema de 96%
3. Potencia pico del panel de 0.325 kilowatts
4. Hora pico solar.

Tabla 26. Cantidad de paneles para generación al 100%

Mes	Cantidad de días del mes	Consumo estimado mensual en kilowatts	Consumo estimado diario en kilowatts	Hsp en kWh/m ² día	Cantidad de paneles solares	Redondeo hacia arriba de la cantidad de paneles
Enero	31	785.40	25.34	4.40	18.46	19
Febrero	28	785.40	28.05	4.91	18.32	19
Marzo	31	785.40	25.34	5.02	16.16	17

Abril	30	785.40	26.18	4.54	18.50	19
Mayo	31	785.40	25.34	3.99	20.34	21
Junio	30	785.40	26.18	3.91	21.48	22
Julio	31	785.40	25.34	3.90	20.82	21
Agosto	31	785.40	25.34	4.00	20.30	21
Setiembre	30	785.40	26.18	3.97	21.15	22
Octubre	31	785.40	25.34	3.61	22.49	23
Noviembre	30	785.40	26.18	3.52	23.84	24
Diciembre	31	785.40	25.34	3.82	21.24	22

Nota: Elaboración propia.

Con base en la información de la tabla anterior, el mes crítico es noviembre, cuando se va a necesitar un aproximado de 24 paneles solares para cubrir el 75% de la demanda energética. Si se tienen 24 paneles y cada uno puede entregar un máximo de 0.325 kilowatts, entre todos juntos se tiene una carga instalada total de 7.8 kilowatts sin tomar en cuenta las horas pico solar de cada mes. Ahora bien, para calcular la generación de los paneles durante cada mes se consideran las horas pico solares (hsp), se multiplican por la carga instalada y los días del mes. Este cálculo mensual se hace con el fin de conocer la generación mensual y anual que potencialmente pueden generar el sistema fotovoltaico, estos cálculos se detallan en la tabla 26.

Generación máxima del sistema fotovoltaico.

La tabla 26 muestra la cantidad máxima de energía eléctrica que puede producir el sistema fotovoltaico si se instalan 24 paneles con una generación máxima por panel de 0.325 kilowatts según la irradiación solar mensual.

Tabla 25. Generación máxima del sistema fotovoltaico

Mes	Cantidad de días del mes	Hsp en kWh/m ² día	Carga instalada en kilowatts	Total de generación en kilowatts
Enero	31	4.40	7.80	1063.92
Febrero	28	4.91	7.80	1071.54
Marzo	31	5.02	7.80	1214.75
Abril	30	4.54	7.80	1061.49
Mayo	31	3.99	7.80	965.51
Junio	30	3.91	7.80	914.07

Julio	31	3.90	7.80	943.02
Agosto	31	4.00	7.80	967.20
Setiembre	30	3.97	7.80	928.51
Octubre	31	3.61	7.80	873.21
Noviembre	30	3.52	7.80	823.68
Diciembre	31	3.82	7.80	924.40
Anual				11751.31

Nota: Elaboración propia.

Según la tabla 26, en el mes de menor irradiación solar, se van a generar un aproximado de 823.68 kilowatts; mientras que el estimado de consumo en la residencia va a ser de 1308.99 kilowatts por mes y en cuanto al mes de mayor irradiación que sería marzo, los 24 paneles producirán hasta 1214.75 kilowatts. Al finalizar el año, se estima un consumo de energía eléctrica de 15707.9 kilowatts y una generación de 11751.31 kilowatts; por lo tanto, el sistema con 24 paneles solares cubriría la mayor parte del consumo y la parte faltante se descargaría de la red del proveedor.

Caso 4. Cantidad de paneles solares considerando 50% de generación.

El cálculo para determinar el número de paneles solares necesarios para cubrir el 50% del consumo de electricidad se describe mediante la siguiente fórmula.

$$\frac{NP}{50\%} = \frac{40}{125\%}$$

$$NP = \frac{40 * 50\%}{125\%} = 16$$

Con base en la fórmula sobre el cálculo del número de paneles solares, se debe calcular la cantidad de módulos fotovoltaicos que se necesitan para generar el 50% de la energía requerida por cada mes en la residencia considerando la irradiación solar de dicho mes. A continuación, se detalla en la tabla 27 los cálculos de la generación por mes de acuerdo con la hora pico solares de cada mes según datos de la NASA del 2017. Los datos por considerar son los siguientes:

1. Consumo energético diario en kilowatts
2. Eficiencia del sistema de 96%
3. Potencia pico del panel de 0.325 kilowatts

4. Hora pico solar.

Tabla 27. Cantidad de paneles para generación al 100%

Mes	Cantidad de días del mes	Consumo estimado mensual en kilowatts	Consumo estimado diario en kilowatts	Hsp en kWh/m ² día	Cantidad de paneles solares	Redondeo hacia arriba de la cantidad de paneles
Enero	31	523.60	16.89	4.40	12.30	13
Febrero	28	523.60	18.70	4.91	12.22	13
Marzo	31	523.60	16.89	5.02	10.78	11
Abril	30	523.60	17.45	4.54	12.33	13
Mayo	31	523.60	16.89	3.99	13.56	14
Junio	30	523.60	17.45	3.91	14.32	15
Julio	31	523.60	16.89	3.90	13.88	14
Agosto	31	523.60	16.89	4.00	13.53	14
Setiembre	30	523.60	17.45	3.97	14.10	15
Octubre	31	523.60	16.89	3.61	14.99	15
Noviembre	30	523.60	17.45	3.52	15.89	16
Diciembre	31	523.60	16.89	3.82	14.16	15

Nota: Elaboración propia.

Con base en la información de la tabla anterior, el mes crítico es noviembre, cuando se necesita un aproximado de 16 paneles solares para cubrir el 50% de la demanda energética. Si se tiene 16 paneles y cada uno puede entregar un máximo de 0.325 kilowatts, entre todos juntos se obtiene una carga instalada total de 5.2 kilowatts sin tomar en cuenta las horas pico solar de cada mes. Ahora bien, para calcular la generación de los paneles durante cada mes, se consideran las horas pico solares (hsp); se multiplican por la carga instalada y los días del mes. Este cálculo mensual se hace con el fin de conocer la generación mensual y anual que potencialmente pueden generar el sistema fotovoltaico, estos cálculos se detallan en la tabla 28.

Generación máxima del sistema fotovoltaico.

La tabla 28 muestra la cantidad máxima de energía eléctrica que puede producir el sistema fotovoltaico si se instalan 16 paneles con una generación máxima por panel de 0.325 kilowatts según la irradiación solar mensual.

Tabla 28. Generación máxima del sistema fotovoltaico

Mes	Cantidad de días del mes	hsp en kWh/m ² día	Carga instalada en kilowatts	Total de generación en kilowatts
Enero	31	4.40	5.2	709.28
Febrero	28	4.91	5.2	714.36
Marzo	31	5.02	5.2	809.84
Abril	30	4.54	5.2	707.66
Mayo	31	3.99	5.2	643.67
Junio	30	3.91	5.2	609.38
Julio	31	3.90	5.2	628.68
Agosto	31	4.00	5.2	644.80
Setiembre	30	3.97	5.2	619.01
Octubre	31	3.61	5.2	582.14
Noviembre	30	3.52	5.2	549.12
Diciembre	31	3.82	5.2	616.27
Anual				7834.21

Nota: Elaboración propia.

Según la tabla 28 en el mes de menor irradiación solar se genera un aproximado de 549.12 kilowatts; mientras que el estimado de consumo en la residencia es de 1308.99 kilowatts por mes y en cuanto al mes de mayor irradiación que sería marzo, los 16 paneles producen hasta 809.84 kilowatts. Al finalizar el año, se estima un consumo de energía eléctrica de 15707.9 kilowatts y una generación de 7834.21 kilowatts; por lo tanto, el sistema con 16 paneles solares cubriría una parte del consumo y la parte faltante se descargaría de la red del proveedor.

Dimensiones de los módulos fotovoltaicos.

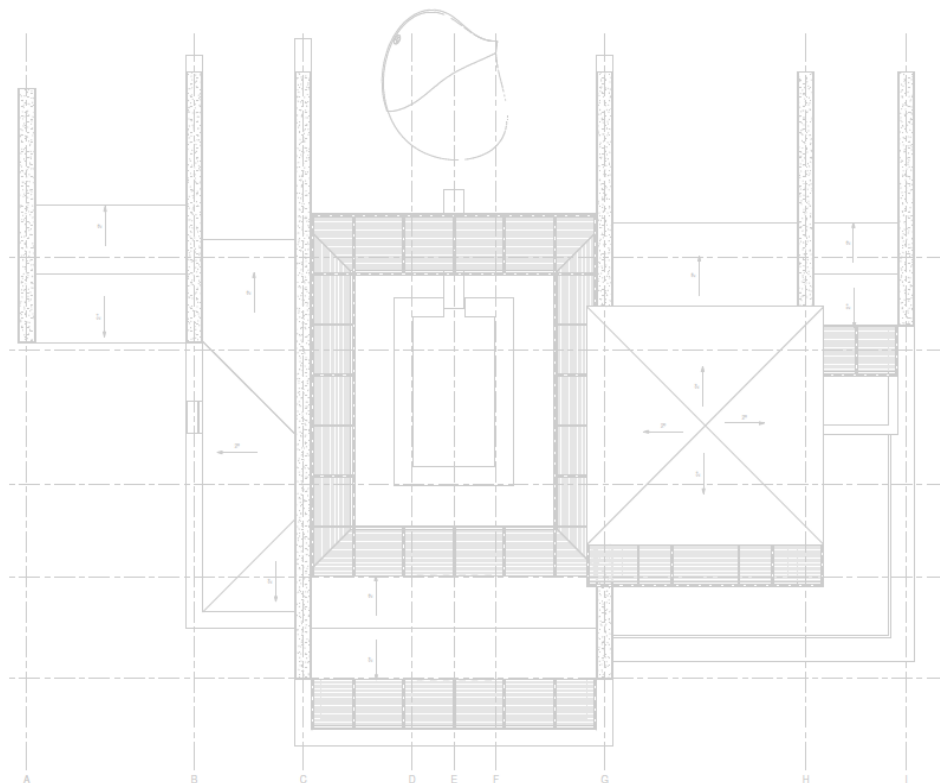
Según la ficha técnica del anexo A, las dimensiones del módulo fotovoltaico son de 1.96 metros de largo por 0.992 metros de ancho y 0.04 metros de espesor. Por lo tanto, cada panel consume un aproximado de 1.94 metros cuadrados. Estos módulos pesan aproximadamente 22.4 kg.

Área destinada a la instalación.

El área total efectiva de techos es de 400 m². Si se considera un arreglo de 32 paneles solares el área que se necesitaría para la instalación es de 62.2 m² solo el espacio de paneles, más el

espacio que debe haber entre ellos y estructuras, el espacio final sería de 80 metros cuadrados según el proveedor. En la figura 32, se muestra el espacio de techos.

Figura 32. Espacio de techos



Nota: Elaboración propia.

Selección del inversor.

Como bien se investigó previamente, existen tanto microinversores como inversores que pueden ser utilizados para convertir la corriente DC generada por los paneles solares a corriente AC, que es la que se necesita para alimentar los equipos eléctricos, luces, motores y demás dispositivos. En este caso, se toma la decisión de utilizar inversores centrales por las ventajas que ofrece. Entre las cuales, se mencionan las siguientes:

1. Se pueden conectar varios módulos fotovoltaicos a un solo inversor central, al ser un solo inversor el costo es menor, por lo tanto, la inversión es menor y la ganancia económica va a ser significativa en un tiempo de recuperación relativamente corto

2. Al usar inversores centrales, la cantidad van a ser menor, lo cual reduce los posibles puntos de falla. Por lo tanto, el mantenimiento y el reemplazo van a requerir menos esfuerzo
3. Cuando llegue el final de la vida útil del inversor, solamente hay que invertir en pocos dispositivos en lugar de reemplazar todos los microinversores instalados que tiene un precio mayor
4. Se puede monitorear la generación del conjunto de paneles fotovoltaicos y comparar su generación mes a mes
5. Usualmente los microinversores se instalan en el techo detrás de los paneles solares y están expuestos a condiciones muy duras, mientras tanto los inversores se pueden instalar tanto en interiores como exteriores. El instalar el inversor en interiores y lugares frescos reduce la probabilidad de falla.

Cálculo del inversor.

Para el cálculo del arreglo de paneles solares en cuanto a la cantidad de las filas y columnas que se necesitan en un sistema en serie, se toma la tensión de entrada del inversor y se divide entre la tensión de cada panel. Esto se hace con respecto a la fórmula 16 y para el para el cálculo de columnas de un sistema en paralelo se emplea la siguiente fórmula 17. Las fórmulas se detallan a continuación.

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

$$\text{Número de columnas en paralelo} = \frac{I_{inv}}{I_{mod}}$$

Los inversores seleccionados son de la marca ABB PVI-5000-OUTD-US de 5000 watts. El rango de voltaje de entrada va desde los 145 voltios de corriente directa hasta los 530 voltios de corriente directa. Lo que se hace es promediar el rango para evitar que la potencia de los módulos conectados en serie vaya a exceder la potencia que el inversor puede manejar; por lo tanto, se suma 145 voltios más 530 voltios y se divide entre 2 para un resultado de 337.5 voltios; este valor luego se divide entre 37 voltios que es el voltaje nominal del módulo fotovoltaico.

$$V_{inv} = \frac{337.5}{37} = 9.12$$

$$\text{Número de filas en serie} = \frac{337.5}{37} = 9.12$$

$$\text{Número de columnas en paralelo} = \frac{18}{8.78} = 2.1$$

Figura 33. Diagrama del arreglo de paneles



Nota: Elaboración propia.

En este caso, se pueden conectar 9 paneles solares en serie en un circuito en paralelo de dos ramales máximo. Este arreglo de dos filas y nueve columnas consumen un aproximado de 8.9 metros de largo y 3.9 metros de ancho para un total de 34.71 metros cuadrados. Si se va a colocar otro arreglo de paneles junto al primero se debe dejar una distancia entre ellos de 0.6 metros para mantenimiento; por lo tanto, si se considera el largo de los 9 paneles que es de 8.9 metros por un ancho de 0.6 metros, el área total de espacio para mantenimiento recomendado es de 5.34 metros cuadrados. El área del arreglo de paneles más el área de mantenimiento es de aproximadamente 40.05 metros cuadrados.

Cálculo del microinversor.

Para microinversores no es necesario hacer cálculos adicionales, puesto que se usa un inversor por cada módulo fotovoltaico. De igual manera, se podría calcular usando las fórmulas 16 y 17 que se detallan a continuación.

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

$$\text{Número de filas en serie} = \frac{55}{37} = 1.48$$

$$\text{Número de columnas en paralelo} = \frac{I_{inv}}{I_{mod}}$$

$$\text{Número de columnas en paralelo} = \frac{12}{8.78} = 1.37$$

La cantidad de filas que se podrían colocar son 1.48 y la cantidad de columnas 1.37. Por supuesto no sería posible colocar más de un módulo fotovoltaico por cada microinversor. Los datos del microinversor se obtienen de la hoja de datos del fabricante AP Systems y el modelo del microinversor es YC500A (Ver anexo B).

Caso 5. Cantidad de paneles solares considerando el 100% del área disponible de techos.

En este caso, se desea estimar la producción de energía eléctrica que se obtendría si se instalan paneles utilizando el cien por ciento del área de techos disponible. El área de techos es de 400 metros cuadrados y un arreglo de 18 paneles solares incluyendo el espacio para mantenimiento abarca un aproximado de 40 metros cuadrados, por lo tanto, se pueden instalar 10 arreglos de paneles cada uno con 18 módulos para un total de 180 módulos.

Para determinar la carga instalada de los paneles solares, se multiplica los 180 módulos por la potencia máxima de cada módulo fotovoltaico que es de 0.325 kW para un total de 58.5 kW. Una vez que se tiene la carga instalada, se divide por la carga demandada de la residencia y se multiplica por 100 para sacar el porcentaje de entrega del sistema.

$$\text{Porcentaje de entrega} = \frac{88134.84}{15707.9} * 100 = 561\%$$

Generación máxima del sistema fotovoltaico.

La tabla 29 muestra la cantidad máxima de energía eléctrica que puede producir el sistema fotovoltaico si se instalan 180 paneles con una generación máxima por panel de 0.325 kilowatts según la irradiación solar mensual.

Tabla 29. Generación máxima del sistema fotovoltaico

Mes	Cantidad de días del mes	hsp en kWh/m ² día	Carga instalada en kilowatts	Total de generación en kilowatts
Enero	31	4.40	58.50	7979.40
Febrero	28	4.91	58.50	8036.52
Marzo	31	5.02	58.50	9110.66
Abril	30	4.54	58.50	7961.21
Mayo	31	3.99	58.50	7241.31
Junio	30	3.91	58.50	6855.56
Julio	31	3.90	58.50	7072.65
Agosto	31	4.00	58.50	7254.00
Setiembre	30	3.97	58.50	6963.84
Octubre	31	3.61	58.50	6549.09
Noviembre	30	3.52	58.50	6177.60
Diciembre	31	3.82	58.50	6933.01
Anual				88134.84

Nota: Elaboración propia.

Según la tabla 29, en el mes de menor irradiación solar, se va a generar un aproximado de 6177.60 kilowatts; mientras que el estimado de consumo en la residencia es de 1308.99 kilowatts por mes y; en cuanto al mes de mayor irradiación, que sería marzo, los 180 paneles producirán hasta 9110.66 kilowatts. Al finalizar el año, se estima un consumo de energía eléctrica de 15707.9 kilowatts y una generación de 88134.84 kilowatts; por lo tanto, el sistema con 180 paneles solares cubriría no solamente el 100% del consumo, sino que también quedaría sobredimensionado.

Sistema mecánico

En esta sección, se va a calcular una opción para aprovechamiento de agua pluvial. Por lo tanto, también se va a determinar la bomba que se va a usar para riego de jardín. De igual manera, se definirán las bombas necesarias para la piscina y la fuente.

Sistema de captación pluvial

Por la arquitectura de la residencia donde los techos tienen diferentes formas que van desde una, dos, tres y hasta cuatro aguas, se hace difícil capturar todas las aguas pluviales en un solo lugar debido a que estas desembocan en lugares diferentes. Por lo tanto, se diseña un sistema de captación de agua que no considera el área total de techos, sino el área parcial de 130 metros cuadrados. El área total de techos (400 m²) va a estar destinado tanto a albergar el sistema de paneles solares, como también a captar el agua pluvial.

Cálculo de las tuberías de desagüe.

Para calcular el sistema de captación, primero se debe calcular la tubería de desagüe con base en el artículo 9.3-1 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (edición 2017). Este cálculo está dado por la fórmula 11 que se detalla en el marco teórico y se describe a continuación.

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

Donde:

C = Coeficiente de escorrentía superficial (adimensional).

Q = Caudal en litros por segundo (l/s).

i = Intensidad de la lluvia en milímetros por hora (mm/h).

A = Área del drenaje tributaria en metros cuadrados (m²).

Para la determinación de los parámetros anteriores, se recomiendan los valores dados según el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica según sección 9.3-1.

Es importante tomar en cuenta el valor de esorrentía que se muestran en la figura 20. En este caso, dicta un rango para residencias unifamiliares que va entre 0.30 hasta 0.50, como criterio se emplea un valor medio de 0.40. En cuanto a la intensidad de lluvia, el artículo recomienda utilizar el coeficiente para un periodo de retorno de 10 años y 30 minutos que según figura 22 es un factor de 145 mm/h para el Pacífico Sur que es el área geográfica que corresponde para Dominical de Puntarenas. Por último, se toma en cuenta el área efectiva de techo también conocida como el área del drenaje tributaria medida en metros cuadrados, que es de 130 m². Los valores por considerar en la fórmula son los siguientes:

$$Q = (l/s).$$

$$C = 0.40.$$

$$i = 145 \text{ mm/h.}$$

$$A = 130 \text{ (m}^2\text{)}.$$

Al completar la fórmula con dichos valores, se obtiene:

$$Q = \frac{0.4 \times 145 \times 130}{3600} = 2.1$$

El resultado obtenido es de 2.1 litros por segundo. Este resultado es el que se va a usar para calcular el diámetro del bajante que se basa en los datos del artículo 9.3-3, figura 24 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones del CFIA. El diámetro en milímetros que se considera es de 75 mm, el cual soporta un caudal máximo de 2.5 litros por segundo.

Cálculo del tanque de colector.

Según el artículo 9.4-5 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones del CFIA, 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 esorrentía producto de la precipitación para un evento con un periodo de retorno de 10 años y una duración de 30 minutos. Este cálculo está dado por la fórmula 19 que se detalla en el marco teórico y se describe a continuación.

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

V_t = Volumen del tanque de captación (m^3).

$Q (10,30)$ = Caudal máximo para un aguacero con un periodo de retorno de 10 años y una duración de 30 minutos (m^3/s).

El caudal máximo que se obtuvo del cálculo de las tuberías de desagüe es de 2.1 litros por segundo que en metro cúbicos es un equivalente de 0.0021 m^3/s . El valor obtenido de este cálculo se sustituye en la siguiente fórmula para calcular el volumen del tanque de captación.

$$V_t = 1200 \times 0.0021 = 2.52 \text{ m}^3$$

El resultado obtenido de la ecuación anterior es de 2.52 metros cúbicos para un equivalente de 2502 litros. Por lo tanto, un tanque que pueda almacenar esa cantidad de agua sería uno tipo aljibes, que es distribuido por Rotoplas Costa Rica. Se escoge este tipo de tanque por ser un tanque diseñado para captación de agua pluvial, el cual incluye una capa de protección ultravioleta y capa interna antibacterial.

Cálculo de la bomba.

Según el artículo 9.4-7 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones del CFIA, 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. Este resultado se obtiene del cálculo de la tubería de desagüe. Al sustituir los valores en la fórmula, la ecuación es la siguiente:

$$2/3 \times 0,0021 \text{ m}^3/s = 0.0014 \text{ m}^3/s$$

El valor obtenido para la bomba fue de 0.0014 m^3/s . Usualmente los sistemas de bombeo usan los caudales en galones por minuto o litros por minuto, por lo tanto, se hace una conversión de metros cúbicos por segundo (m^3/s) a galones por minuto estadounidenses (USGPM) y litros por minuto.

$$0,0014 \text{ m}^3/s = 22.19 \text{ USGPM} = 84 \text{ l/min}$$

En este caso, se escoge una bomba centrífuga distribuida por Rotoplas Costa Rica, modelo CM050/23M de ½ caballo de fuerza con un caudal máximo de 105 litros por minuto y una altura máxima de descarga de 22 metros columna de agua.

Diámetros para la succión e impulsión.

En cuanto a los sistemas de bombeo, las velocidades no deben exceder 1,5 m/s en el tramo de succión y 2,5 m/s en el tramo de impulsión; esto con base en las recomendaciones del artículo 7.9-7 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones del CFIA. Por lo tanto, se calculan las áreas de las tuberías para que no excedan estos límites. Este cálculo está dado por la fórmula 20 que se detalla en el marco teórico y se describe a continuación.

$$Q = v * A$$

Donde:

Q = Es el caudal volumétrico o flujo de agua que circula por la tubería (m³/s).

v = Es la velocidad del agua en el interior de la tubería (m/s).

A = Es el área de la sección interna de la tubería ($\pi \cdot D^2 / 4$), siendo D el diámetro interior de la tubería (mm).

Resolviendo:

$$Q = v \times A$$

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{0.0014 \text{ m}^3/\text{s}}{1.5 \text{ m/s}} = 0.000933 \text{ m}^2$$

El área necesaria mínima para mantener una velocidad de al menos 1.5 m/s es de 0.000933 metros cuadrados.

$$A = \frac{0.0014 \text{ m}^3/\text{s}}{2.5 \text{ m/s}} = 0.00056 \text{ m}^2$$

El área necesaria mínima para sostener una velocidad de al menos 2.5 m/s es de 0.00056 metros cuadrados. Es decir, para el tramo de succión, el área de la tubería para conservar una velocidad de 1.5 m/s es de 0.000933 m² y, para el tramo de impulsión en el área de tubería para mantener una velocidad de 2.5 m/s, es de 0.00056 m². Conociendo estas áreas de succión e impulsión, se puede calcular el diámetro de la tubería. Este cálculo está dado por la siguiente fórmula.

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Donde:

A = Área en metros cuadrados (m²).

D = Diámetro interno de la tubería en metros (m).

Resolviendo:

$$D = \sqrt{\frac{A \times 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{0.000933 \times 4}{\pi}} = 0.035 \text{ m}$$

$$D = \sqrt{\frac{0.00056 \times 4}{\pi}} = 0.027 \text{ m}$$

El resultado del primer diámetro dio 0.035 metros (35 milímetros) para un equivalente de 1.38 pulgada en el tramo de la tubería de succión y 0.027 (27 milímetros) metros para un equivalente de 1.06 pulgadas en el tramo de la tubería de impulsión.

Altura manométrica.

Para el cálculo de la altura manométrica, se emplean las fórmulas:

$$H = H_g + P_c + 10 \cdot \frac{P_i - P_a}{\gamma}$$

Donde:

H_g = Es la altura geométrica que debe vencer el fluido (m), $H_g = H_a + H_i$.

P_c = Es la pérdida de carga del fluido a su paso por las tuberías, válvulas y accesorios (m).

$P_i - P_a / \gamma$ = Es la diferencia de presión que existe entre las superficies de impulsión y aspiración de la bomba (m).

H_a = Es la sumatoria de la altura de aspiración (m).

H_i = La altura de impulsión.

Determinando las pérdidas.

Según el artículo 6.3.1-1 del Código de Instalaciones Hidráulicas del CFIA, el diámetro mínimo para llave de jardín es de 12 milímetros (0.47 pulgadas) con una presión de 10 metros columna de agua (10 mca) a la entrada del accesorio. Para el dimensionamiento de la tubería de riego, se va a utilizar tubo de 1.5 de pulgada con los accesorios compatibles para dicho diámetro.

La distancia de tubo recto de PVC de 1.5 pulgadas (38 milímetros) desde la bomba hasta la última llave terminal para agua es de 44.2 metros, la bomba puede tener un caudal de hasta 105 litros por minuto (6300 litros por hora) y el diámetro de tubería es de 38 milímetros. Considerando los datos de la figura 25 para tuberías de PVC, la pérdida aproximada es de 6.9 metros por 100 metros de tubería recta. La distancia desde la salida de la bomba hasta la última llave de chorro es de 44 metros; por lo tanto, las pérdidas calculadas a esta distancia son de 3 mca.

En cuanto a la pérdida por accesorios, se saca el equivalente a tramos de tubería recta y, posteriormente, se utiliza la fórmula de Hazen-Williams. Para la tubería de succión, se desprecian estos cálculos por ser mínimos; ya que la bomba se encuentra justo al lado del tanque de captación. En cuanto a las pérdidas en la tubería de impulsión, la instalación tiene los siguientes accesorios: una válvula check para evitar que el fluido se regrese, dos llaves terminales que tienen un segmento de tubo recto de 1.5 de pulgadas a 17 metros y 44 metros desde la salida de la

bomba hasta el terminal, también se incluyen dos válvulas de compuerta que están ubicadas a 0.2 metros antes de cada llave terminal, un codo 90 grados de 1.5 de pulgada, multiconector y adaptadores. Las distancias de tubería equivalente se calcularon basados en los datos de las figuras 25 y 26; y el nomograma del anexo C. Con las distancias equivalentes en tubería recta, se procede a utilizar la fórmula de Hazen – Williams para estimar las pérdidas.

Tabla 30. Resumen de tubería equivalente de tubo recto

Accesorios	Cantidad	Longitud equivalente en metros	Total de longitud equivalente en metros
Multiconector de PVC de 1.5 pulgada	1	0.4	0.4
Válvula check de PVC de 1.5 pulgada	1	3.5	3.5
Conector tipo T de PVC de 1.5 pulgada	1	2.75	2.75
Llaves de choro de PVC de 1.5 pulgada abierta	2	5	10
Codos de 90 grados de PVC de 1.5 pulgada	2	1.2	2.4
Válvulas de compuerta de PVC de 1.5 pulgada 100% abierta	2	0.15	0.3
Adaptadores machos de PVC de 1.5 pulgada	5	0.4	2
Total	14	13.4	21.35

Nota: Elaboración propia.

Con los datos de tubería equivalente, se obtiene la pérdida total en accesorios usando la fórmula 23 de Hazen-Williams que se detalla a continuación.

$$hf = \frac{10.675 * (Q / C)^{1.85} * L}{D^{4.87}}$$

Donde:

hf = Pérdida de carga (m).

L = Longitud de la tubería (m) que sería de 21.35 metros.

D = Diámetro interno (m) que sería de 0.038 metros (38 mm).

Q = Caudal (m³/s) que sería de 0.00001667 metros cúbicos por segundo (105 l/s).

Los valores de los coeficientes “C” se extraen de la figura 27, según material y los años de uso de las tuberías. Al sustituir los valores en la ecuación, se obtienen los siguientes resultados.

$$h_f = \frac{10.675 * \left(\frac{0.00175}{140}\right)^{1.85} * 21.35}{0.038^{4.87}} = 1.58 \text{ mca}$$

El total de pérdidas estimadas en accesorios es de 1.58 mca.

Tabla 31. Resumen de las pérdidas en el tramo de impulsión

Descripción	Pérdidas en metros
Pérdidas en tramos de tubería recta	3
Pérdidas en accesorios	1.58
Total	4.58

Nota: Elaboración propia.

La bomba propuesta es una de tipo centrífuga modelo CM 050/23M distribuida por Rotoplas Costa Rica. Esta bomba puede brindar un caudal máximo de 105 litros por minuto (l/min) con una altura máxima de descarga de 22 metros columna de agua (mca). Si se consideran las pérdidas desde la salida de la bomba hasta la última llave de chorro, según la tabla 31, se tiene un total de 4.58 metros. Al restar los 22 mca disponibles que puede brindar la bomba a los 4.58 mca en pérdidas, queda un total disponible de 17.42 mca, el cual es suficiente para mantener el caudal de 105 l/min y una presión en la última llave de 15 mca; lo cual satisface las recomendaciones brindadas por Código de Instalaciones Hidráulicas del CFIA. Ver Anexo F.

Cálculo de la bomba de piscina.

Diámetros de succión e impulsión.

En cuanto a los sistemas de bombeo, las velocidades no deben exceder 1,5 m/s en el tramo de succión y 2,5 m/s en el tramo de impulsión; esto con base en las recomendaciones del artículo 7.9-7 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones del CFIA. Por lo tanto, se calculan las áreas de las tuberías para que no excedan estos límites. Este cálculo está dado por la fórmula 20 que se detalla en el marco teórico.

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{0.00536 \text{ m}^3/\text{s}}{1.5 \text{ m/s}} = 0.00357 \text{ m}^2$$

El área necesaria mínima para mantener una velocidad de al menos 1.5 m/s es de 0.00357 metros cuadrados.

$$A = \frac{0.00536 \text{ m}^3/\text{s}}{2.5 \text{ m/s}} = 0.00214 \text{ m}^2$$

El área necesaria mínima para conservar una velocidad de al menos 2.5 m/s es de 0.00214 metros cuadrados. Es decir, para el tramo de succión, el área de la tubería para mantener una velocidad de 1.5 m/s es de 0.00357 m² y, para el tramo de impulsión en el área de tubería para sostener una velocidad de 2.5 m/s, es de 0.00214 m². Conociendo estas áreas de succión e impulsión, se puede calcular el diámetro de la tubería. Este cálculo está dado por la siguiente fórmula.

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Resolviendo:

$$D = \sqrt{\frac{A \times 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{0.00357 \times 4}{\pi}} = 0.0674 \text{ m}$$

$$D = \sqrt{\frac{0.00214 \times 4}{\pi}} = 0.0522 \text{ m}$$

El resultado del primer diámetro dio 0.0674 metros (67.4 milímetros) para un equivalente de 2.65 pulgada en el tramo de la tubería de succión y 0.0522 metros (52.2 milímetros) metros para un equivalente de 2.05 pulgadas en el tramo de la tubería de impulsión. Las tuberías de 3

pulgadas son recomendadas como mínimo, por especialistas en piscinas como Luxart, para reducir las pérdidas al máximo.

Estimación de las pérdidas para la succión.

Tabla 32. Resumen de tubería equivalente de tubo recto para fondo

Accesorios	Cantidad	Longitud equivalente en metros	Total de longitud equivalente en metros
Codo 90 de 3 pulgadas	13	3.9	50.7
Codo 45 de 3 pulgadas	4	1.8	7.2
Curva de 3 pulgadas	4	0.9	3.6
Conector tipo T de 3 pulgadas	5	2.5	12.5
Válvulas de compuerta de 3 pulgadas 100% abierta	2	0.9	1.8
Longitud de la tubería	1	100	100
Total	14	60	175.8

Nota: Elaboración propia.

Resolviendo la fórmula 23 con los datos de caudal, coeficiente, diámetro y tubería equivalente, se obtiene la siguiente ecuación con un resultado de 3.14 mca.

$$h_f = \frac{10.675 * \left(\frac{0.0054}{150}\right)^{1.85} * 175.8}{0.0762^{4.87}} = 3.14 \text{ mca}$$

Estimación de las pérdidas para la impulsión.

Tabla 33. Resumen de tubería equivalente de tubo recto para fondo

Accesorios	Cantidad	Longitud equivalente en metros	Total de longitud equivalente en metros
Codo 90 de 3 pulgadas	6	3.9	23.4
Codo 45 de 3 pulgadas	4	1.8	7.2
Curva suave de 3 pulgadas	2	0.9	1.8
Conector tipo T de 3 pulgadas	11	2.5	27.5
Válvulas de compuerta de 3 pulgadas 100% abierta	5	0.9	4.5
Longitud de la tubería	1	100	100
Total	32	35	164.4

Nota: Elaboración propia.

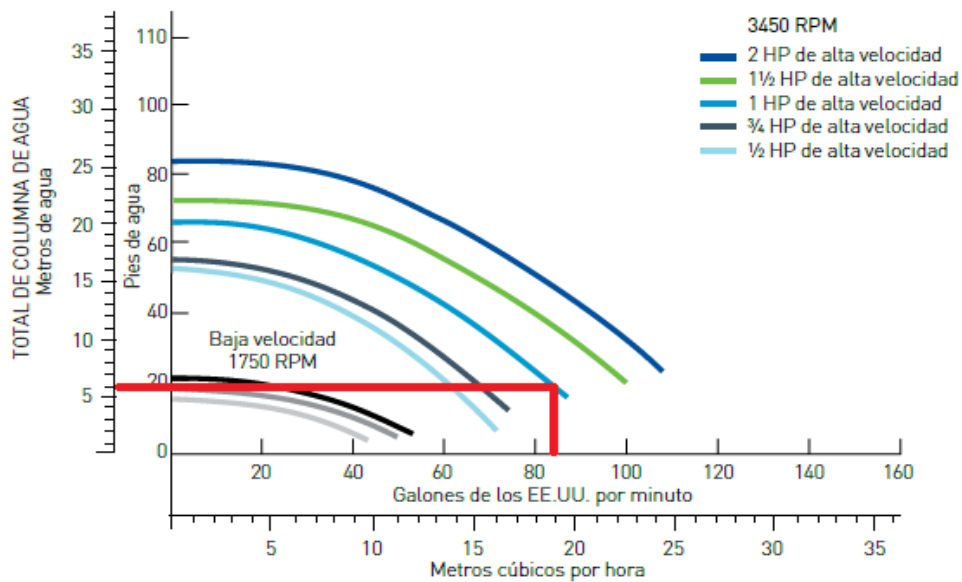
Al completar la fórmula 23 con los datos de caudal, coeficiente, diámetro y tubería equivalente, se obtiene la siguiente ecuación con un resultado de 2.94 mca.

$$hf = \frac{10.675 * \left(\frac{0.0054}{150}\right)^{1.85} * 164.4}{0.0762^{4.87}} = 2.94 \text{ mca}$$

Las pérdidas de succión son de 3.14 mca, mientras que las de descarga son de 2.94 mca para un total de 6.08 mca. Son prácticamente despreciables, puesto que con base en la curva característica de la bomba con pérdidas de 6.08 mca hay una caudal disponible de hasta 82 gpm (18.6 m³/h) aproximadamente. Ver figura 34.

Figura 34. Curva de rendimiento

CURVAS DE RENDIMIENTO



Nota: Bombas Pentair.

Cálculo de la bomba de piscina.

Para estimar si la bomba cumple con los requisitos de funcionamiento, se siguen los siguientes pasos recomendados por expertos en piscinas como Luxart. Anexo G.

Primer paso: Calcular el volumen.

Se tiene una piscina de 53 m² y una profundidad de 1.3 m. Al multiplicar estos valores, se obtiene un volumen en metros cúbicos de 68.9. Este es el volumen total de la piscina.

Segundo paso: Determinar el periodo de renovación.

Se usa un criterio de 4 horas de renovación, según la recomendación del Reglamento de piscinas públicas y de los expertos en piscinas Luxart, quienes aconsejan tiempos entre 4 a 8 horas. Este es el tiempo que va le va a tomar a la bomba recircular el total del volumen.

Tercer paso: Estimar el volumen de la bomba.

Se divide el volumen total de la piscina entre el periodo de renovación del agua. En este caso, sería 68.9 m³ / 4 horas = 17.2 m³/h.

Cuarto paso: Seleccionar la bomba.

Para estimar la bomba, se deben conocer el estimado de las pérdidas de presión para asegurar que la bomba pueda entregar el caudal esperado. En este caso, se selecciona una bomba SuperFlo Pentair 1 HP, que pueden entregar hasta 85 gpm (19.31 m³/h) a 110-230 vac. Se buscó asesoramiento por parte de Luxart Costa Rica, empresa dedicada al diseño, construcción y mantenimiento de piscinas y fuentes. Ver Anexo G.

Cálculo de la bomba de fuente.***Diámetros de succión e impulsión.***

En cuanto a los sistemas de bombeo, las velocidades no deben exceder 1,5 m/s en el tramo de succión y 2,5 m/s en el tramo de impulsión. Esto con base las recomendaciones del artículo 7.9-7 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones del CFIA. Por lo tanto, se calculan las áreas de las tuberías para que no excedan estos límites. Este cálculo está dado por la fórmula 20 que se detalla en el marco teórico.

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{0.0022 \text{ m}^3/\text{s}}{1.5 \text{ m/s}} = 0.00146 \text{ m}^2$$

El área necesaria mínima para mantener una velocidad de al menos 1.5 m/s es de 0.00146 metros cuadrados.

$$A = \frac{0.0022 \text{ m}^3/\text{s}}{2.5 \text{ m/s}} = 0.00088 \text{ m}^2$$

El área necesaria mínima para mantener una velocidad de al menos 2.5 m/s es de 0.00088 metros cuadrados. Es decir, para el tramo de succión el área de la tubería para sostener una velocidad de 1.5 m/s es de 0.00146 m² y, para el tramo de impulsión el área de tubería para conservar una velocidad de 2.5 m/s, es de 0.00088 m². Conociendo estas áreas de succión e impulsión, se puede calcular el diámetro de la tubería. Este cálculo está dado por la siguiente fórmula.

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Resolviendo:

$$D = \sqrt{\frac{A \times 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{0.00146 \times 4}{\pi}} = 0.043 \text{ m}$$

$$D = \sqrt{\frac{0.00088 \times 4}{\pi}} = 0.0335 \text{ m}$$

El resultado del primer diámetro dio 0.043 metros (43 milímetros) para un equivalente de 1.7 pulgada en el tramo de la tubería de succión y 0.0335 metros (33.5 milímetros) metros para un equivalente de 1.31 pulgadas en el tramo de la tubería de impulsión. Las tuberías de 3 pulgadas son recomendadas como mínimo, por especialistas en piscinas como Luxart, para reducir las pérdidas al máximo.

Estimación de las pérdidas para la succión.

Tabla 34. Resumen de tubería equivalente de tubo recto para fondo

Accesorios	Cantidad	Longitud equivalente en metros	Total de longitud equivalente en metros
Codo 90 de 3 pulgadas	10	3.9	39
Codo 45 de 3 pulgadas	4	1.8	7.2
Curva de 3 pulgadas	4	0.9	3.6
Conector tipo T de 3 pulgadas	4	2.5	10
Válvulas de compuerta de 3 pulgadas 100% abierta	2	0.9	1.8
Longitud de la tubería	1	60	60
Total	25	70	121.6

Nota: Elaboración propia.

Resolviendo en la fórmula 23 con los datos de caudal, coeficiente, diámetro y tubería equivalente, se obtiene la siguiente ecuación con un resultado de 0.413 mca.

$$h_f = \frac{10.675 * \left(\frac{0.0022}{150}\right)^{1.85} * 121.6}{0.0762^{4.87}} = 0.413 \text{ mca}$$

Estimación de las pérdidas para la impulsión.

Tabla 35. Resumen de tubería equivalente de tubo recto para fondo

Accesorios	Cantidad	Longitud equivalente en metros	Total de longitud equivalente en metros
Codo 90 de 3 pulgadas	6	3.9	23.4
Codo 45 de 3 pulgadas	4	1.8	7.2
Curva suave de 3 pulgadas	2	0.9	1.8
Conector tipo T de 3 pulgadas	8	2.5	20
Válvulas de compuerta de 3 pulgadas 100% abierta 0,9 1 0,9	3	0.9	2.7
Longitud de la tubería	1	60	60
Total	24	70	115.1

Nota: Elaboración propia.

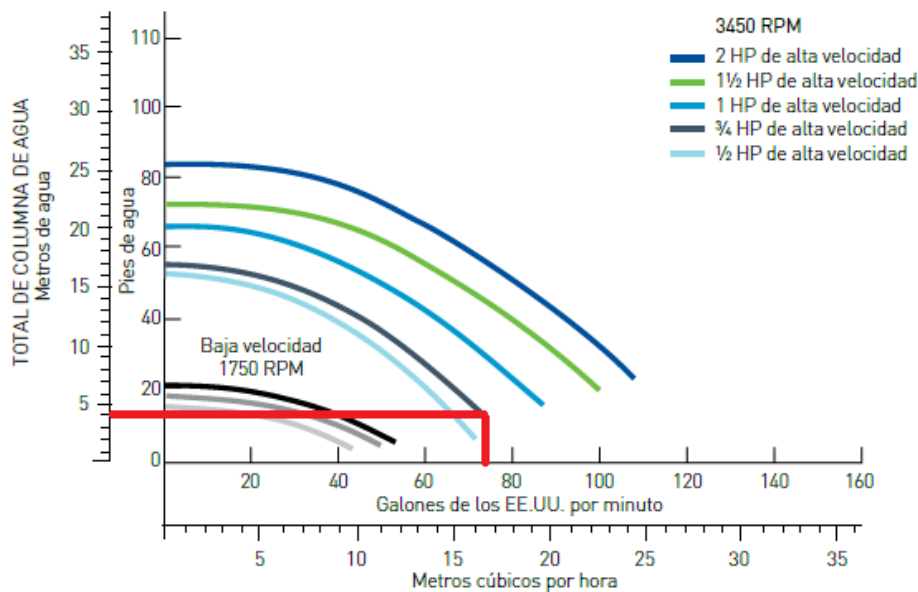
Resolviendo en la fórmula 23 con los datos de caudal, coeficiente, diámetro y tubería equivalente, se obtiene la siguiente ecuación con un resultado de 0.391 mca.

$$hf = \frac{10.675 * \left(\frac{0.0022}{150}\right)^{1.85} * 115.1}{0.0762^{4.87}} = 0.391 \text{ mca}$$

Las pérdidas de succión son de 0.413 mca, mientras que de la descarga son de 0.391 mca para un total de 0.804 mca. Son prácticamente despreciables, puesto que basados en la curva característica de la bomba con pérdidas de 0.804 mca hay una caudal disponible de hasta 75 gpm (17.03 m³/h) aproximadamente, ver figura 35.

Figura 35. Curva de rendimiento

CURVAS DE RENDIMIENTO



Nota: Bombas Pentair.

Cálculo de la bomba de fuente.

Para estimar si la bomba cumple con los requisitos de funcionamiento, se siguen los siguientes pasos recomendados por los expertos en piscinas Luxart. Ver Anexo H.

Primer paso: Calcular el volumen.

Se tiene una piscina de 35 m² y una profundidad de 0.6 m. Al multiplicar estos valores, se obtiene un volumen en metros cúbicos de 21. Este es el volumen total de la fuente.

Segundo paso: Determinar el periodo de renovación.

Se usa un criterio de 4 horas de renovación, este es el tiempo que va le va a tomar a la bomba recircular el total del volumen.

Tercer paso: Estimar el volumen de la bomba.

Se divide el volumen total de la piscina entre el periodo de renovación del agua. En este caso, sería 21 m³ / 2 horas = 10.5 m³/h.

Cuarto paso: Seleccionar la bomba.

Para estimar la bomba, se debe conocer el estimado de las pérdidas de presión para asegurar que la bomba pueda entregar el caudal esperado. En este caso, se selecciona una bomba SuperFlo Pentair 3/4 HP, que pueden entregar hasta 75 gpm (17 m³/h) a 110-230 vac. Se buscó asesoramiento por parte de Luxart Costa Rica, una empresa dedicada al diseño, construcción y mantenimiento de piscinas y fuentes. Ver Anexo H.

La tabla 36 resume las bombas a utilizar en los sistemas mecánicos, el caudal, la marca, el modelo y las pérdidas.

Tabla 36. Resumen bombas y pérdidas

Descripción	Potencia en hp	Marca	Modelo	Caudal en GPM	Pérdidas estimadas en mca
Riego	1/2	Rotobomba	CM 050/23M	28	4.58
Fuente	3/4	Pentair	SuperFlo	75	6.08
Piscina	1	Pentair	SuperFlo	85	0.804

Nota: Elaboración propia.

Análisis financiero

En esta sección, se va a detallar un análisis financiero para cada uno de los casos anteriores, considerando la generación del 561%, 125%, 100%, 75% y 50% del consumo mensual de la residencia. Se va a considerar la cantidad de paneles solares que se necesitan y el costo de instalación según las cotizaciones que se ofertaron por medio de Go Solar, una compañía dedicada al negocio de energías renovables. Ver anexos D adjunto. También, se estudiarán las tarifas actuales que se brindan para el sector de Dominical por parte del Instituto Costarricense de Electricidad. Ver anexo E.

La tabla 37 muestra el costo inicial de materiales e instalación en dólares y su conversión a colones para sistemas fotovoltaicos usando inversor central. El precio del dólar que se usó fue a la fecha del 24 de setiembre del 2018 según banco Central de Costa Rica. Los detalles se muestran a continuación.

Tabla 37. Cotizaciones de paneles solares

Porcentaje de generación	Cantidad de paneles según mes de menor irradiación	Costo de instalación y materiales	Precio del dólar al 24 de setiembre del 2018 según banco Central de Costa Rica	Total en colones
561%	180	\$83,655.00	CRC 581.09	CRC 48,611,083.95
125%	40	\$18,590.00	CRC 581.09	CRC 10,802,463.10
100%	32	\$14,872.00	CRC 581.09	CRC 8,641,970.48
75%	24	\$11,154.00	CRC 581.09	CRC 6,481,477.86
50%	16	\$7,436.00	CRC 581.09	CRC 4,320,985.24

Nota: Elaboración propia.

La tabla 38 muestra el costo inicial de materiales e instalación en dólares y su conversión a colones para sistemas fotovoltaicos usando microinversor.

Tabla 38. Cotizaciones de paneles solares

Porcentaje de generación	Cantidad de paneles según mes de menor irradiación	Costo de instalación y materiales	Precio del dólar al 24 de setiembre del 2018 según banco Central de Costa Rica	Total en colones
561%	180	\$131,455.00	CRC 581.09	CRC 76,387,185.95
125%	40	\$28,585.00	CRC 581.09	CRC 16,610,457.65
100%	32	\$23,387.00	CRC 581.09	CRC 13,589,951.83
75%	24	\$17,029.00	CRC 581.09	CRC 9,895,381.61
50%	16	\$11,556.00	CRC 581.09	CRC 6,715,076.04

Nota: Elaboración propia.

La tabla 39 muestra el costo de los inversores centrales y los microinversores, donde se puede ver claramente que el costo de colocar microinversores eleva mucho el precio y, por ende, el beneficio económico no es tan significativo. Posteriormente, se detallarán estos costos con cálculos mensuales, VAN y TIR.

Tabla 39. Costos de inversor central vs. microinversor

Marca	Modelo	Descripción	Costo
Enphase	IQ6	Microinversor de 330 watts	CRC 191,759.70
ABB	PVI-5000-OUTD-US	Inversor de 5000 watts	CRC 674,064.40
ABB	PVI-3300-OUTD-US	Inversor de 3300 watts	CRC 514,264.65

Nota: Go Solar.

Tarifas aplicables según Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

En cada tarifa, se cobrará como suma mínima mensual equivalente a los primeros 40 kWh. Según lo publicado en La Gaceta No. 123, Alcance 115 del 26 de junio del 2018 (Ver anexo E). En las tarifas residenciales, se cobran los primeros 200 kWh a 77.14 colones por cada kWh y, después de los 200 kWh, se cobra una tarifa de 139.02 colones por cada kWh. En cuanto a la tarifa que se aplica sobre inyección y retiro diferido de energía a la red de distribución en la modalidad de generación distribuida para autoconsumo con medición neta sencilla, es de 27.86

colones por cada kWh. Finalmente, los cargos por alumbrado público son de 4.05 colones por cada kW con un mínimo de 40 kWh y un máximo de 50 000 kWh e impuesto de la venta del 5% para consumos mayores de los 250 kWh. En la tabla 38, se detallan los cargos y los costos se pueden verificar en el Anexo E.

Tabla 40. Costos según ICE 2018

Costo primeros 200 kWh	CRC 77.14
Por cada kWh adicional	CRC 139.02
Servicio de alumbrado público por cada kWh de consumo	CRC 4.05
Impuesto de venta por encima de los 250 kWh	5%

Nota: ICE.

En la tabla 41, se detalla un aproximado del cargo total de una factura con base en los costos del 2018 del ICE sin paneles solares o algún tipo de energía renovable. Ver Anexo E.

Tabla 41. Costos aproximados

Descripción	Tarifa en Colones	Consumo kWh	Subtotal
Primeros 200 kWh	CRC 77.14	200.00	CRC 15,428.00
Por cada kWh adicional	CRC 139.02	1075.82	CRC 149,560.50
Alumbrado	CRC 4.05	1308.99	CRC 5,301.42
Subtotal			CRC 170,289.92
Impuesto	5%		CRC 8,514.50
Total			CRC 178,804.41

Nota: Elaboración propia.

Conociendo los datos de consumo, el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, la cotización del proveedor de paneles solares y el estimado de la factura sin paneles se ingresan todos los datos en una tabla comparativa anual que permita hacer un análisis financiero para evaluar qué tan rentable es el proyecto y en cuánto tiempo se recupera la inversión.

Definiciones:

Las siguientes definiciones se van a usar para entender y poder leer las tablas de consumo-generación de mejor manera.

1. Energía almacenada del mes anterior: Es la sumatoria de todos los excedentes de energía eléctrica generada que no se consumen durante los meses y se almacena en la red del proveedor de servicios para ser usada en meses posteriores cuando la generación no supe los consumos.
2. Energía generada en kWh: Es la energía eléctrica que genera el conjunto de paneles solares para suplir las necesidades energéticas de la residencia.
3. Energía consumida en kWh: Es la energía eléctrica que se consume en la residencia.
4. Energía requerida en kWh: Es la diferencia entre la energía consumida y la energía generada. Este cálculo se usa para conocer cuánta energía se sube a la red o cuánta energía se baja de la red.
5. Energía subida a la red propia kWh: Es la cantidad de energía eléctrica que sobra del mes y se sube a la red propia para ser descargada posteriormente cuando haga falta.
6. Energía bajada de la red propia kWh: Es la cantidad de energía eléctrica que se baja de la red cuando el consumo es mayor a la generación y se tiene energía almacenada.
7. Energía bajada de la red del ICE kWh: Es la cantidad de energía que se baja directamente del proveedor de servicios cuando no se ha generado, ni tampoco se tiene energía almacenada.
8. Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14/kWh: Es el costo que cobra el proveedor de servicios por usar la energía eléctrica siempre y cuando el consumo sea menor a 200 kWh. Se obtiene al multiplicar 200 kWh por 77.14 colones / kWh.
9. Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02/kWh: Es el costo que cobra el proveedor de servicios por usar la energía eléctrica cuando el consumo es mayor a los 200 kWh. Se obtiene al multiplicar los kWh que estén por encima de los 200 kWh por 139.02 colones / kWh.
10. Costo por bajar energía de la red CRC 27.86 / kWh: Es el costo de acceso a la red o bien el costo que cobra el proveedor de servicios por bajar la energía almacenada en la red

propia. Se obtiene al multiplicar los kWh bajados de la red propia por 27.86 colones / kWh.

11. Costo por demanda mínima de 40 kWh: Es la tarifa mínima que cobra el proveedor de servicios, ya sea que se usen o no los 40 kWh. Se obtiene al multiplicar 40 kWh por 77.14 colones / kWh.
12. Costo por alumbrado público CRC 4.05: Es el monto que se cobra por el alumbrado público y se obtiene al multiplicar la energía consumida por 4.04 colones.
13. Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh: Es el impuesto que se cobra al total de la factura cuando el consumo supera los 250 kWh, según lo estipulado por el Ministerio de Hacienda con respecto a las tarifas del 2018.
14. Facturación con paneles: Es el costo estimado de las facturas mensuales cuando se utilizan paneles solares.
15. Facturación sin paneles: Es el costo estimado de las facturas mensuales cuando no se utilizan paneles solares.

Caso 1: Costos con el 125% del consumo.

En este caso, se va a tomar en cuenta la inversión de los 40 paneles con un costo de CRC 10,802,463.10, lo cual se muestran en la tabla 37. La tabla 42 detalla el consumo energético mensual, la electricidad generada y los costos asociados por descargar la energía de la red dependiendo de si es energía generada y almacenada o bajada por completo del proveedor de servicios. También, muestra la energía que se genera, el excedente y cuánta de esa energía se guarda en la red propia. Mientras la tabla 43 presenta un resumen de las facturas que se generarían con paneles y sin paneles anualmente.

Tabla 42. Costos al 125% de la generación

Detalle	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Energía almacenada del mes anterior		464.2	941.1	1,656.7
Energía generada en kWh	1,773.2	1,785.9	2,024.6	1,769.2
Energía consumida en kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía requerida en kWh	-464.2	-476.9	-715.6	-460.2
Energía subida a la red propia kWh	464.2	476.9	715.6	460.2

Energía bajada de la red propia kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía bajada de la red del ICE kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red propia CRC 27.86 / kWh	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5
Costo por demanda mínima de 40 kWh	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6
Costo por alumbrado público CRC 4.05	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4
Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8
Facturación con paneles	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3
Facturación sin paneles	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3

Detalle	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Energía almacenada del mes anterior	2,116.9	2,417.1	2,631.5	2,894.2
Energía generada en kWh	1,609.2	1,523.5	1,571.7	1,612.0
Energía consumida en kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía requerida en kWh	-300.2	-214.5	-262.7	-303.0
Energía subida a la red propia kWh	300.2	214.5	262.7	303.0
Energía bajada de la red propia kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía bajada de la red del ICE kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red propia CRC 27.86 / kWh	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5
Costo por demanda mínima de 40 kWh	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6
Costo por alumbrado público CRC 4.05	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4
Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8
Facturación con paneles	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3
Facturación sin paneles	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3

Detalle	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía almacenada del mes anterior	3,197.2	3,435.8	3,582.1	3,645.9
Energía generada en kWh	1,547.5	1,455.4	1,372.8	1,540.7
Energía consumida en kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía requerida en kWh	-238.5	-146.4	-63.8	-231.7
Energía subida a la red propia kWh	238.5	146.4	63.8	231.7
Energía bajada de la red propia kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía bajada de la red del ICE kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red propia CRC 27.86 / kWh	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5
Costo por demanda mínima de 40 kWh	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6
Costo por alumbrado público CRC 4.05	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4
Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8
Facturación con paneles	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3
Facturación sin paneles	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 42, se muestra que al finalizar el año hay un excedente inyectado a la red de 3645.93 kWh una vez cubierto el 100% de la demanda energética de la residencia.

Tabla 43. Costos anuales con paneles y sin paneles

Gasto anual con paneles	CRC 565,179.8
Gasto anual sin paneles	CRC 2,145,651.7
Ahorro anual	CRC 1,580,471.9

Nota: Elaboración propia.

Caso 2: Costos con el 100% del consumo.

En este caso, se va a tomar en cuenta la inversión de los 32 paneles con un costo de CRC 8,641,970.48 que se muestran en la tabla 37. La tabla 44 detalla el consumo energético mensual, la electricidad generada y los costos asociados por descargar la energía de la red dependiendo si es energía generada y almacenada o bajada por completo del proveedor de servicios. También, expone la energía que se genera, el excedente y cuánta de esa energía se guarda en la red propia. Mientras la tabla 45 muestran un resumen de las facturas que se generarían con paneles y sin paneles anualmente.

Tabla 44. Costos al 100% de la generación

Detalle	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Energía almacenada del mes anterior		109.6	229.3	540.0
Energía generada en kWh	1,418.6	1,428.7	1,619.7	1,415.3
Energía consumida en kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía requerida en kWh	-109.6	-119.7	-310.7	-106.3
Energía subida a la red propia kWh	109.6	119.7	310.7	106.3
Energía bajada de la red propia kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía bajada de la red del ICE kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red propia CRC 27.86 / kWh	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5
Costo por demanda mínima de 40 kWh	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6
Costo por alumbrado público CRC 4.05	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4
Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8
Facturación con paneles	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3
Facturación sin paneles	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3

Detalle	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Energía almacenada del mes anterior	646.3	624.7	534.4	482.8
Energía generada en kWh	1,287.3	1,218.8	1,257.4	1,289.6
Energía consumida en kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía requerida en kWh	21.6	90.2	51.6	19.4
Energía subida a la red propia kWh	-21.6	-90.2	-51.6	-19.4
Energía bajada de la red propia kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía bajada de la red del ICE kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0

Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red propia CRC 27.86 / kWh	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5
Costo por demanda mínima de 40 kWh	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6
Costo por alumbrado público CRC 4.05	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4
Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8
Facturación con paneles	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3
Facturación sin paneles	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3

Detalle	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía almacenada del mes anterior	463.4	392.4	247.7	37.0
Energía generada en kWh	1,238.0	1,164.3	1,098.2	1,232.5
Energía consumida en kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía requerida en kWh	71.0	144.7	210.8	76.5
Energía subida a la red propia kWh	-71.0	-144.7	-210.8	-76.5
Energía bajada de la red propia kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía bajada de la red del ICE kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red propia CRC 27.86 / kWh	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5
Costo por demanda mínima de 40 kWh	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6
Costo por alumbrado público CRC 4.05	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4
Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8
Facturación con paneles	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3
Facturación sin paneles	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 42, se muestra que al finalizar el año hay un excedente inyectado a la red de 36.96 kWh ya cubriendo el 100% de la demanda energética de la residencia. Este dimensionamiento al 100% optimiza mejor los consumos con respecto a la generación del sistema fotovoltaico.

Tabla 45. Costos con paneles y sin paneles

Gasto anual con paneles	CRC 565,179.9
Gasto anual sin paneles	CRC 2,145,651.7
Ahorro anual	CRC 1,580,471.8

Nota: Elaboración propia.

Caso 3: Costos con el 75% del consumo.

En este caso se va a tomar en cuenta la inversión de los 24 paneles con un costo de 6,481,477.86 colones que se muestran en la tabla 37. La tabla 46 detalla el consumo energético mensual, la electricidad generada y los costos asociados por descargar la energía de la red dependiendo de si es energía generada y almacenada o bajada por completo del proveedor de servicios. También incluye la energía que se genera, el excedente y cuánta de esa energía se

guarda en la red propia. Mientras la tabla 47 presenta un resumen de las facturas que se generarían con paneles y sin paneles anualmente.

Tabla 46. Costos al 75% de la generación

Detalle	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Energía almacenada del mes anterior		0.0	0.0	0.0
Energía generada en kWh	1,063.9	1,071.5	1,214.8	1,061.5
Energía consumida en kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía requerida en kWh	245.1	237.5	94.2	247.5
Energía subida a la red propia kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Energía bajada de la red propia kWh	1,063.9	1,071.5	1,214.8	1,061.5
Energía bajada de la red del ICE kWh	245.1	237.5	94.2	247.5
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14 / kWh	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4	CRC 4,184.1	CRC 12,342.4
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02 / kWh	CRC 6,265.6	CRC 5,207.7	CRC 0.0	CRC 6,603.5
Costo por bajar energía de la red propia CRC 27.86 / kWh	CRC 29,640.8	CRC 29,853.0	CRC 33,843.1	CRC 29,573.2
Costo por demanda mínima de 40 kWh	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6
Costo por alumbrado público CRC 4.05	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4
Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh	CRC 2,831.8	CRC 2,789.5	CRC 2,320.7	CRC 2,845.3
Facturación con paneles	CRC 59,467.7	CRC 58,579.6	CRC 48,734.9	CRC 59,751.4
Facturación sin paneles	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3

Detalle	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Energía almacenada del mes anterior	0.0	0.0	0.0	0.0
Energía generada en kWh	965.5	914.1	943.0	967.2
Energía consumida en kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía requerida en kWh	343.5	394.9	366.0	341.8
Energía subida a la red propia kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Energía bajada de la red propia kWh	965.5	914.1	943.0	967.2
Energía bajada de la red del ICE kWh	343.5	394.9	366.0	341.8
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14 / kWh	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02 / kWh	CRC 19,948.0	CRC 27,097.8	CRC 23,073.1	CRC 19,711.6
Costo por bajar energía de la red propia CRC 27.86 / kWh	CRC 26,899.0	CRC 25,466.1	CRC 26,272.5	CRC 26,946.2
Costo por demanda mínima de 40 kWh	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6
Costo por alumbrado público CRC 4.05	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4
Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh	CRC 3,378.8	CRC 3,664.7	CRC 3,503.8	CRC 3,369.4
Facturación con paneles	CRC 70,955.3	CRC 76,958.0	CRC 73,578.9	CRC 70,756.6
Facturación sin paneles	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3

Detalle	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía almacenada del mes anterior	0.0	0.0	0.0	0.0
Energía generada en kWh	928.5	873.2	823.7	924.4
Energía consumida en kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía requerida en kWh	380.5	435.8	485.3	384.6
Energía subida a la red propia kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Energía bajada de la red propia kWh	928.5	873.2	823.7	924.4
Energía bajada de la red del ICE kWh	380.5	435.8	485.3	384.6
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14 / kWh	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4

Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02 / kWh	CRC 25,090.3	CRC 32,778.1	CRC 39,663.8	CRC 25,661.7
Costo por bajar energía de la red propia CRC 27.86 / kWh	CRC 25,868.3	CRC 24,327.7	CRC 22,947.7	CRC 25,753.8
Costo por demanda mínima de 40 kWh	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6
Costo por alumbrado público CRC 4.05	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4
Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh	CRC 3,584.4	CRC 3,891.8	CRC 4,167.0	CRC 3,607.2
Facturación con paneles	CRC 75,272.5	CRC 81,727.0	CRC 87,508.0	CRC 75,752.2
Facturación sin paneles	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 46, se muestra que al finalizar el año no se tiene un excedente inyectado a la red, de hecho, solamente cubre el uso energético de forma parcial.

Tabla 47. Costos al 75% con paneles y sin paneles

Gasto anual con paneles	CRC 839,041.9
Gasto anual sin paneles	CRC 2,145,651.7
Ahorro anual	CRC 1,306,609.8

Nota: Elaboración propia.

Caso 4: Costos con el 50% del consumo.

En este caso se va a tomar en cuenta la inversión de los 16 paneles con un costo de CRC 4,320,985.24 que se expone en la tabla 37. La tabla 48 detalla el consumo energético mensual, la electricidad generada y los costos asociados por descargar la energía de la red dependiendo de si es energía generada y almacenada o bajada por completo del proveedor de servicios. También, muestra la energía que se genera, el excedente y cuánta de esa energía se guarda en la red propia. Mientras la tabla 49 presenta un resumen de las facturas que se generarían con paneles y sin paneles anualmente.

Tabla 48. Costos al 50% de la generación

Detalle	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Energía almacenada del mes anterior		0.0	0.0	0.0
Energía generada en kWh	709.3	714.4	809.8	707.7
Energía consumida en kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía requerida en kWh	599.7	594.6	499.2	601.3
Energía subida a la red propia kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Energía bajada de la red propia kWh	709.3	714.4	809.8	707.7
Energía bajada de la red del ICE kWh	599.7	594.6	499.2	601.3
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14 / kWh	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02 / kWh	CRC 55,568.0	CRC 54,862.2	CRC 41,588.6	CRC 55,792.8
Costo por bajar energía de la red propia CRC 27.86 / kWh	CRC 19,760.5	CRC 19,902.0	CRC 22,562.0	CRC 19,715.5
Costo por demanda mínima de 40 kWh	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6
Costo por alumbrado público CRC 4.05	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4

Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh	CRC 4,802.9	CRC 4,774.7	CRC 4,244.0	CRC 4,811.9
Facturación con paneles	CRC 100,860.9	CRC 100,268.3	CRC 89,124.1	CRC 101,049.6
Facturación sin paneles	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3

Detalle	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Energía almacenada del mes anterior	0.0	0.0	0.0	0.0
Energía generada en kWh	643.7	609.4	628.7	644.8
Energía consumida en kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía requerida en kWh	665.3	699.6	680.3	664.2
Energía subida a la red propia kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Energía bajada de la red propia kWh	643.7	609.4	628.7	644.8
Energía bajada de la red del ICE kWh	665.3	699.6	680.3	664.2
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14 / kWh	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02 / kWh	CRC 64,688.9	CRC 69,455.7	CRC 66,773.0	CRC 64,532.0
Costo por bajar energía de la red propia CRC 27.86 / kWh	CRC 17,932.7	CRC 16,977.4	CRC 17,515.0	CRC 17,964.1
Costo por demanda mínima de 40 kWh	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6
Costo por alumbrado público CRC 4.05	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4
Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh	CRC 5,167.6	CRC 5,358.1	CRC 5,250.9	CRC 5,161.3
Facturación con paneles	CRC 108,518.6	CRC 112,520.7	CRC 110,268.4	CRC 108,386.9
Facturación sin paneles	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3

Detalle	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía almacenada del mes anterior	0.0	0.0	0.0	0.0
Energía generada en kWh	619.0	582.1	549.1	616.3
Energía consumida en kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía requerida en kWh	690.0	726.9	759.9	692.7
Energía subida a la red propia kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Energía bajada de la red propia kWh	619.0	582.1	549.1	616.3
Energía bajada de la red del ICE kWh	690.0	726.9	759.9	692.7
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14 / kWh	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4	CRC 12,342.4
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02 / kWh	CRC 68,117.6	CRC 73,242.8	CRC 77,833.5	CRC 68,498.6
Costo por bajar energía de la red propia CRC 27.86 / kWh	CRC 17,245.6	CRC 16,218.5	CRC 15,298.5	CRC 17,169.2
Costo por demanda mínima de 40 kWh	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6
Costo por alumbrado público CRC 4.05	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4
Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh	CRC 5,304.6	CRC 5,509.5	CRC 5,693.1	CRC 5,319.9
Facturación con paneles	CRC 111,397.2	CRC 115,700.2	CRC 119,554.4	CRC 111,717.1
Facturación sin paneles	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 48, se muestra que al finalizar el año no hay un excedente inyectado a la red, de hecho, que solamente cubre el uso energético de forma parcial.

Tabla 49. Costos al 50% con paneles y sin paneles

Gasto anual con paneles	CRC 1,289,366.4
Gasto anual sin paneles	CRC 2,145,651.7
Ahorro anual	CRC 856,285.4

Nota: Elaboración propia.

Caso 5: Costos con el 561% del consumo.

En este caso, se va a tomar en cuenta la inversión de los 180 paneles con un costo de CRC 48,611,083.95 que se muestran en la tabla 37. La tabla 50 detalla el consumo energético mensual, la electricidad generada y los costos asociados por descargar la energía de la red dependiendo de si es energía generada y almacenada o bajada por completo del proveedor de servicios. También, se presenta la energía que se genera, el excedente y cuánta de esa energía se guarda en la red propia. Mientras la tabla 51 exhibe un resumen de las facturas que se generarían con paneles y sin paneles anualmente.

Tabla 50. Costos al 561% de la generación

Detalle	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Energía almacenada del mes anterior		6,670.4	13,397.9	21,199.6
Energía generada en kWh	7,979.4	8,036.5	9,110.7	7,961.2
Energía consumida en kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía requerida en kWh	-6,670.4	-6,727.5	-7,801.7	-6,652.2
Energía subida a la red propia kWh	6,670.4	6,727.5	7,801.7	6,652.2
Energía bajada de la red propia kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía bajada de la red del ICE kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red propia CRC 27.86 / kWh	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5
Costo por demanda mínima de 40 kWh	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6
Costo por alumbrado público CRC 4.05	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4
Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8
Facturación con paneles	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3
Facturación sin paneles	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3

Detalle	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Energía almacenada del mes anterior	27,851.8	33,784.1	39,330.7	45,094.4
Energía generada en kWh	7,241.3	6,855.6	7,072.7	7,254.0
Energía consumida en kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía requerida en kWh	-5,932.3	-5,546.6	-5,763.7	-5,945.0
Energía subida a la red propia kWh	5,932.3	5,546.6	5,763.7	5,945.0
Energía bajada de la red propia kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía bajada de la red del ICE kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red propia CRC 27.86 / kWh	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5
Costo por demanda mínima de 40 kWh	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6
Costo por alumbrado público CRC 4.05	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4
Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8
Facturación con paneles	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3
Facturación sin paneles	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3

Detalle	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía almacenada del mes anterior	51,039.4	56,694.2	61,934.3	66,802.9
Energía generada en kWh	6,963.8	6,549.1	6,177.6	6,933.0
Energía consumida en kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía requerida en kWh	-5,654.8	-5,240.1	-4,868.6	-5,624.0
Energía subida a la red propia kWh	5,654.8	5,240.1	4,868.6	5,624.0
Energía bajada de la red propia kWh	1,309.0	1,309.0	1,309.0	1,309.0
Energía bajada de la red del ICE kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 77.14 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red del ICE CRC 139.02 / kWh	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0	CRC 0.0
Costo por bajar energía de la red propia CRC 27.86 / kWh	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5	CRC 36,468.5
Costo por demanda mínima de 40 kWh	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6	CRC 3,085.6
Costo por alumbrado público CRC 4.05	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4	CRC 5,301.4
Impuesto de venta 5% por encima de los 250 kWh	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8	CRC 2,242.8
Facturación con paneles	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3	CRC 47,098.3
Facturación sin paneles	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3	CRC 178,804.3

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 50, se muestra que al finalizar el año se presenta un excedente inyectado a la red de 66802.92 kWh ya cubriendo el 100% de la demanda energética de la residencia y pasando todo el excedente a la red del proveedor de servicios.

Tabla 51. Costos al 561% con paneles y sin paneles

Gasto anual con paneles	CRC 565,179.8
Gasto anual sin paneles	CRC 2,145,651.7
Ahorro anual	CRC 1,580,471.9

Nota: Elaboración propia.

Cálculo del valor actual neto (VAN).

El VAN se va a utilizar para valorar si un proyecto es rentable o no. En este caso se va a utilizar una tasa de descuento (k) del 15.5% que corresponde al crédito en colones que ofrece el programa del banco nacional llamado BN Soluciones ECO Tecnología a un plazo de 20 años y tomando en cuenta la vida útil de los paneles solares que es de 20 años. Este dato fue provisto por el banco nacional el día 29 de noviembre de 2018. Posteriormente el cálculo se hace con respecto a la fórmula 17 detallada en el marco teórico.

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

Donde:

V_t : Es el flujo de dinero en cada periodo. Es la diferencia entre el gasto anual con y sin paneles.

I_0 : Es la inversión inicial.

n : Es el número de periodos considerados. Se utiliza los 20 años de vida útil de los paneles.

k : Es el tipo de interés.

Los criterios que se toman en cuenta para determinar si un proyecto va a ser rentable o no son los siguientes:

- $VAN > 0$. Es un proyecto que va a generar ganancias y se determina como rentable.
- $VAN < 0$. Es un proyecto que va a generar pérdidas y se determina como no rentable.
- $VAN = 0$. Es un proyecto que no genera ni pérdidas, ni ganancias. En este caso, se necesitaría basar la decisión de tomar el proyecto o no con respecto a otros criterios internos de la compañía.

Tasa interna de retorno (TIR)

Este cálculo cuantifica las ganancias o las pérdidas que tendrá la inversión. En términos financieros, la tasa interna de retorno se define como la tasa de descuento con la que el valor actual neto o valor presente neto es igual a cero. El cálculo se hace con respecto a la fórmula 18 detallada en el marco teórico.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I = 0$$

Donde:

FT : Es el flujo de caja durante el periodo (t). Es la diferencia del gasto anual con y sin paneles.

n : Es el número de periodos. Se utiliza los 20 años de vida útil de los paneles.

I : Es la inversión inicial.

El criterio de evaluación es el siguiente:

- $TIR > r$. Es un proyecto de inversión que se puede aceptar básicamente porque la rentabilidad va a ser mayor a la mínima requerida.
- $TIR = 0$. Se considera el mismo caso que cuando el TIR es mayor, es una inversión que se puede aceptar considerando criterios de posicionamiento de la empresa o si no hay más opciones disponibles a considerar para invertir.
- $TIR < 0$. Es un proyecto de inversión que se debe rechazar porque no generará la rentabilidad mínima requerida.

Análisis del caso 1 (VAN y TIR).

El caso 1 corresponde a la generación del 125% del consumo utilizando un total de 40 paneles solares. En la tabla 52, se muestra la factura con y sin paneles solares, incluso se muestra el ahorro que se obtiene al finalizar cada año. También, se consideró un 5% de aumento en la factura por cada año. El ahorro anual que se muestra en la tabla 52 se va a utilizar como el flujo de efectivo o mejor conocido como flujo de caja para calcular el valor actual neto.

El valor acumulado que se detalla en la tabla 53 y 54, corresponde a los cálculos considerando el sistema fotovoltaico con inversores y microinversores. Para el cálculo del VAN y el TIR, se utiliza las fórmulas en de la hoja de cálculo de Microsoft Excel por ser más exacto; sin embargo, se pueden emplear las fórmulas 25 y 26 descritas en el marco teórico.

Tabla 52. Ahorro anual

Año	Factura sin paneles anual	Factura con paneles anual	Ahorro anual
0	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00
1	CRC 2,145,651.72	CRC 565,179.78	CRC 1,580,471.94
2	CRC 2,252,934.31	CRC 593,438.77	CRC 1,659,495.53
3	CRC 2,365,581.02	CRC 623,110.71	CRC 1,742,470.31
4	CRC 2,483,860.07	CRC 654,266.25	CRC 1,829,593.83
5	CRC 2,608,053.08	CRC 686,979.56	CRC 1,921,073.52
6	CRC 2,738,455.73	CRC 721,328.54	CRC 2,017,127.19
7	CRC 2,875,378.52	CRC 757,394.96	CRC 2,117,983.55
8	CRC 3,019,147.44	CRC 795,264.71	CRC 2,223,882.73
9	CRC 3,170,104.81	CRC 835,027.95	CRC 2,335,076.87
10	CRC 3,328,610.05	CRC 876,779.34	CRC 2,451,830.71
11	CRC 3,495,040.56	CRC 920,618.31	CRC 2,574,422.25

12	CRC 3,669,792.59	CRC 966,649.23	CRC 2,703,143.36
13	CRC 3,853,282.21	CRC 1,014,981.69	CRC 2,838,300.53
14	CRC 4,045,946.33	CRC 1,065,730.77	CRC 2,980,215.55
15	CRC 4,248,243.64	CRC 1,119,017.31	CRC 3,129,226.33
16	CRC 4,460,655.82	CRC 1,174,968.18	CRC 3,285,687.65
17	CRC 4,683,688.62	CRC 1,233,716.59	CRC 3,449,972.03
18	CRC 4,917,873.05	CRC 1,295,402.42	CRC 3,622,470.63
19	CRC 5,163,766.70	CRC 1,360,172.54	CRC 3,803,594.16
20	CRC 5,421,955.03	CRC 1,428,181.16	CRC 3,993,773.87

Nota: Elaboración propia.

Tabla 53. Valor actual neto inversión con inversores centrales

Año	Flujos en efectivo	Valor presente	Valor acumulado
0	-CRC 11,234,212.97	-CRC 11,234,212.97	-CRC 11,234,212.97
1	CRC 1,580,471.94	CRC 1,368,373.97	-CRC 9,865,839.00
2	CRC 1,659,495.53	CRC 1,243,976.34	-CRC 8,621,862.66
3	CRC 1,742,470.31	CRC 1,130,887.58	-CRC 7,490,975.08
4	CRC 1,829,593.83	CRC 1,028,079.62	-CRC 6,462,895.46
5	CRC 1,921,073.52	CRC 934,617.83	-CRC 5,528,277.63
6	CRC 2,017,127.19	CRC 849,652.58	-CRC 4,678,625.05
7	CRC 2,117,983.55	CRC 772,411.43	-CRC 3,906,213.62
8	CRC 2,223,882.73	CRC 702,192.21	-CRC 3,204,021.41
9	CRC 2,335,076.87	CRC 638,356.56	-CRC 2,565,664.85
10	CRC 2,451,830.71	CRC 580,324.14	-CRC 1,985,340.71
11	CRC 2,574,422.25	CRC 527,567.40	-CRC 1,457,773.30
12	CRC 2,703,143.36	CRC 479,606.73	-CRC 978,166.58
13	CRC 2,838,300.53	CRC 436,006.12	-CRC 542,160.46
14	CRC 2,980,215.55	CRC 396,369.20	-CRC 145,791.26
15	CRC 3,129,226.33	CRC 360,335.63	CRC 214,544.37
16	CRC 3,285,687.65	CRC 327,577.85	CRC 542,122.22
17	CRC 3,449,972.03	CRC 297,798.04	CRC 839,920.27
18	CRC 3,622,470.63	CRC 270,725.50	CRC 1,110,645.76
19	CRC 3,803,594.16	CRC 246,114.09	CRC 1,356,759.85
20	CRC 3,993,773.87	CRC 223,740.08	CRC 1,580,499.93

Nota: Elaboración propia.

La tabla 53 muestra cómo la inversión se recupera en el año 15, momento en que los números son positivos con un valor de CRC 214,544.37 y, después de ese año, se empieza a obtener ganancia hasta un total de CRC 1,580,499.93 al finalizar los 20 años.

En cuanto al cálculo del TIR, se obtuvo un porcentaje del 18%. Al ser el TIR mayor al coste de oportunidad, resulta un proyecto de inversión que se puede aceptar básicamente porque la rentabilidad es mayor a la mínima requerida.

Tabla 54. Valor actual neto inversión con microinversores

Año	Flujos en efectivo	Valor presente	Valor acumulado
0	-CRC 16,610,457.65	-CRC 16,610,457.65	-CRC 16,610,457.65
1	CRC 1,580,471.94	CRC 1,368,373.97	-CRC 15,242,083.68
2	CRC 1,659,495.53	CRC 1,243,976.34	-CRC 13,998,107.34
3	CRC 1,742,470.31	CRC 1,130,887.58	-CRC 12,867,219.76
4	CRC 1,829,593.83	CRC 1,028,079.62	-CRC 11,839,140.14
5	CRC 1,921,073.52	CRC 934,617.83	-CRC 10,904,522.31
6	CRC 2,017,127.19	CRC 849,652.58	-CRC 10,054,869.73
7	CRC 2,117,983.55	CRC 772,411.43	-CRC 9,282,458.30
8	CRC 2,223,882.73	CRC 702,192.21	-CRC 8,580,266.09
9	CRC 2,335,076.87	CRC 638,356.56	-CRC 7,941,909.53
10	CRC 2,451,830.71	CRC 580,324.14	-CRC 7,361,585.39
11	CRC 2,574,422.25	CRC 527,567.40	-CRC 6,834,017.98
12	CRC 2,703,143.36	CRC 479,606.73	-CRC 6,354,411.26
13	CRC 2,838,300.53	CRC 436,006.12	-CRC 5,918,405.14
14	CRC 2,980,215.55	CRC 396,369.20	-CRC 5,522,035.94
15	CRC 3,129,226.33	CRC 360,335.63	-CRC 5,161,700.31
16	CRC 3,285,687.65	CRC 327,577.85	-CRC 4,834,122.46
17	CRC 3,449,972.03	CRC 297,798.04	-CRC 4,536,324.41
18	CRC 3,622,470.63	CRC 270,725.50	-CRC 4,265,598.92
19	CRC 3,803,594.16	CRC 246,114.09	-CRC 4,019,484.83
20	CRC 3,993,773.87	CRC 223,740.08	-CRC 3,795,744.75

Nota: Elaboración propia.

La tabla 54 muestra cómo la inversión no se recupera al finalizar los 20 años, y se obtiene una pérdida de CRC 3,795,744.75.

En cuanto al cálculo del TIR, se obtuvo un porcentaje del 12%; lo cual significa que al ser el TIR menor que el coste de oportunidad es un proyecto de inversión que no se puede aceptar básicamente porque la rentabilidad será menor a la mínima requerida.

Tabla 55. Resumen del VAN y TIR

Caso 1			
Descripción	VAN	TIR	Año de recuperación
Inversores centrales	CRC 1,580,499.93	18%	15
Microinversores	CRC 3,795,744.75	12%	No se recupera

Nota: Elaboración propia.

La tabla 55 muestra el resumen del valor acumulado, el porcentaje de la tasa interés de retorno y el año en el cual se recupera la inversión para inversores centralizados y la no recuperación con microinversores.

Análisis del caso 2 (VAN y TIR).

El caso 2 corresponde a la generación del 100% del consumo utilizando un total de 32 paneles solares. En la tabla 56, se muestra la factura con y sin paneles solares, incluso se presenta el ahorro que se obtiene al finalizar cada año. También, se consideró un 5% de aumento en la factura por cada año. El ahorro anual que se expone en la tabla 56 se va a utilizar como el flujo de efectivo o mejor conocido como flujo de caja para calcular el valor actual neto.

El valor acumulado que se detalla en la tabla 57 y 58 corresponde a los cálculos considerando el sistema fotovoltaico con inversores y microinversores. Para el cálculo del VAN y el TIR, se emplean las fórmulas de la hoja de cálculo de Microsoft Excel por ser más exactas; sin embargo, se pueden utilizar las fórmulas 25 y 26 descritas en el marco teórico.

Tabla 56. Ahorro anual

Año	Factura sin paneles anual	Factura con paneles anual	Ahorro anual
0	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00
1	CRC 2,145,651.72	565,179.91	CRC 1,580,471.81
2	CRC 2,252,934.31	593,438.90	CRC 1,659,495.40
3	CRC 2,365,581.02	623,110.85	CRC 1,742,470.17
4	CRC 2,483,860.07	654,266.39	CRC 1,829,593.68
5	CRC 2,608,053.08	686,979.71	CRC 1,921,073.37
6	CRC 2,738,455.73	721,328.69	CRC 2,017,127.04
7	CRC 2,875,378.52	757,395.13	CRC 2,117,983.39
8	CRC 3,019,147.44	795,264.89	CRC 2,223,882.56
9	CRC 3,170,104.81	835,028.13	CRC 2,335,076.68
10	CRC 3,328,610.05	876,779.54	CRC 2,451,830.52
11	CRC 3,495,040.56	920,618.51	CRC 2,574,422.05
12	CRC 3,669,792.59	966,649.44	CRC 2,703,143.15
13	CRC 3,853,282.21	1,014,981.91	CRC 2,838,300.30
14	CRC 4,045,946.33	1,065,731.01	CRC 2,980,215.32
15	CRC 4,248,243.64	1,119,017.56	CRC 3,129,226.09
16	CRC 4,460,655.82	1,174,968.43	CRC 3,285,687.39
17	CRC 4,683,688.62	1,233,716.86	CRC 3,449,971.76

18	CRC 4,917,873.05	1,295,402.70	CRC 3,622,470.35
19	CRC 5,163,766.70	1,360,172.83	CRC 3,803,593.87
20	CRC 5,421,955.03	1,428,181.47	CRC 3,993,773.56

Nota: Elaboración propia.

Tabla 57. Valor actual neto con inversores centrales

Año	Flujos en efectivo	Valor presente	Valor Acumulado
0	-CRC 8,641,970.48	-CRC 8,641,970.48	-CRC 8,641,970.48
1	CRC 1,580,471.81	CRC 1,368,373.86	-CRC 7,273,596.62
2	CRC 1,659,495.40	CRC 1,243,976.24	-CRC 6,029,620.37
3	CRC 1,742,470.17	CRC 1,130,887.49	-CRC 4,898,732.88
4	CRC 1,829,593.68	CRC 1,028,079.54	-CRC 3,870,653.35
5	CRC 1,921,073.37	CRC 934,617.76	-CRC 2,936,035.58
6	CRC 2,017,127.04	CRC 849,652.51	-CRC 2,086,383.07
7	CRC 2,117,983.39	CRC 772,411.37	-CRC 1,313,971.70
8	CRC 2,223,882.56	CRC 702,192.16	-CRC 611,779.54
9	CRC 2,335,076.68	CRC 638,356.51	CRC 26,576.96
10	CRC 2,451,830.52	CRC 580,324.10	CRC 606,901.06
11	CRC 2,574,422.05	CRC 527,567.36	CRC 1,134,468.42
12	CRC 2,703,143.15	CRC 479,606.69	CRC 1,614,075.11
13	CRC 2,838,300.30	CRC 436,006.08	CRC 2,050,081.20
14	CRC 2,980,215.32	CRC 396,369.17	CRC 2,446,450.36
15	CRC 3,129,226.09	CRC 360,335.61	CRC 2,806,785.97
16	CRC 3,285,687.39	CRC 327,577.82	CRC 3,134,363.79
17	CRC 3,449,971.76	CRC 297,798.02	CRC 3,432,161.82
18	CRC 3,622,470.35	CRC 270,725.47	CRC 3,702,887.29
19	CRC 3,803,593.87	CRC 246,114.07	CRC 3,949,001.36
20	CRC 3,993,773.56	CRC 223,740.06	CRC 4,172,741.42

Nota: Elaboración propia.

La tabla 57 muestra cómo la inversión se recupera en el año 9 donde los números son positivos con un valor de CRC 26,576.96 y después de ese año se empieza obtener ganancia hasta un total de CRC 4,172,741.42 al finalizar los 20 años.

En cuanto al cálculo del TIR, se obtuvo un porcentaje del 22%; dado que TIR es mayor que el coste de oportunidad se puede decir que es un proyecto de inversión que se puede aceptar básicamente porque la rentabilidad va a ser mayor a la mínima requerida.

Tabla 58. Valor actual neto con microinversores

Año	Flujos en efectivo	Valor presente	Valor Acumulado
0	-CRC 13,589,951.83	-CRC 13,589,951.83	-CRC 13,589,951.83
1	1580471.814	CRC 1,368,373.86	-CRC 12,221,577.97

2	1659495.404	CRC 1,243,976.24	-CRC 10,977,601.72
3	1742470.175	CRC 1,130,887.49	-CRC 9,846,714.23
4	1829593.683	CRC 1,028,079.54	-CRC 8,818,634.70
5	1921073.367	CRC 934,617.76	-CRC 7,884,016.93
6	2017127.036	CRC 849,652.51	-CRC 7,034,364.42
7	2117983.388	CRC 772,411.37	-CRC 6,261,953.05
8	2223882.557	CRC 702,192.16	-CRC 5,559,760.89
9	2335076.685	CRC 638,356.51	-CRC 4,921,404.39
10	2451830.519	CRC 580,324.10	-CRC 4,341,080.29
11	2574422.045	CRC 527,567.36	-CRC 3,813,512.93
12	2703143.147	CRC 479,606.69	-CRC 3,333,906.24
13	2838300.305	CRC 436,006.08	-CRC 2,897,900.15
14	2980215.32	CRC 396,369.17	-CRC 2,501,530.99
15	3129226.086	CRC 360,335.61	-CRC 2,141,195.38
16	3285687.39	CRC 327,577.82	-CRC 1,813,617.56
17	3449971.76	CRC 297,798.02	-CRC 1,515,819.53
18	3622470.348	CRC 270,725.47	-CRC 1,245,094.06
19	3803593.865	CRC 246,114.07	-CRC 998,979.99
20	3993773.558	CRC 223,740.06	-CRC 775,239.93

Nota: Elaboración propia.

La tabla 58 muestra cómo la inversión no se recupera durante los 20 años, y se obtiene una pérdida de 775,239.93.

En cuanto al cálculo del TIR, se obtuvo un porcentaje del 15%. Debido a que el TIR es menor que el coste de oportunidad, se puede decir que es un proyecto de inversión que no se puede aceptar básicamente porque la rentabilidad va a ser menor a la mínima requerida.

Tabla 59. Resumen del VAN y TIR

Caso 2			
Descripción	VAN	TIR	Año de recuperación
Inversores centrales	CRC 4,172,741.42	22%	9
Microinversores	-CRC 775,239.93	15%	No se recupera

Nota: Elaboración propia.

La tabla 59 muestra el resumen del valor acumulado, el porcentaje de la tasa interés de retorno y el año en que se recupera la inversión para el sistema con inversores centralizados y como no se recupera para el sistema con microinversores.

Análisis del caso 3 (VAN y TIR).

El caso 3 corresponde a la generación del 75% del consumo utilizando un total de 24 paneles solares. En la tabla 60, se muestra la factura con y sin paneles solares, incluso se presenta el

ahorro que se obtiene al finalizar cada año. También se consideró un 5% de aumento en la factura por cada año. El ahorro anual que se expone en la tabla 60 se va a utilizar como el flujo de efectivo o mejor conocido como flujo de caja para calcular el valor actual neto.

El valor acumulado que se detalla en la tabla 61 y 62 corresponde a los cálculos considerando el sistema fotovoltaico con inversores y microinversores. Para el cálculo del VAN y el TIR, se utilizan las fórmulas de la hoja de cálculo de Microsoft Excel por ser más exactas; sin embargo, se pueden emplear las fórmulas 25 y 26 descritas en el marco teórico.

Tabla 60. Ahorro anual

Año	Factura sin paneles anual	Factura con paneles anual	Ahorro anual
0	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00
1	CRC 2,145,651.72	CRC 839,041.93	CRC 1,306,609.79
2	CRC 2,252,934.31	CRC 880,994.03	CRC 1,371,940.28
3	CRC 2,365,581.02	CRC 925,043.73	CRC 1,440,537.29
4	CRC 2,483,860.07	CRC 971,295.92	CRC 1,512,564.16
5	CRC 2,608,053.08	CRC 1,019,860.71	CRC 1,588,192.37
6	CRC 2,738,455.73	CRC 1,070,853.75	CRC 1,667,601.98
7	CRC 2,875,378.52	CRC 1,124,396.43	CRC 1,750,982.08
8	CRC 3,019,147.44	CRC 1,180,616.26	CRC 1,838,531.19
9	CRC 3,170,104.81	CRC 1,239,647.07	CRC 1,930,457.75
10	CRC 3,328,610.05	CRC 1,301,629.42	CRC 2,026,980.63
11	CRC 3,495,040.56	CRC 1,366,710.89	CRC 2,128,329.67
12	CRC 3,669,792.59	CRC 1,435,046.44	CRC 2,234,746.15
13	CRC 3,853,282.21	CRC 1,506,798.76	CRC 2,346,483.46
14	CRC 4,045,946.33	CRC 1,582,138.70	CRC 2,463,807.63
15	CRC 4,248,243.64	CRC 1,661,245.63	CRC 2,586,998.01
16	CRC 4,460,655.82	CRC 1,744,307.91	CRC 2,716,347.91
17	CRC 4,683,688.62	CRC 1,831,523.31	CRC 2,852,165.31
18	CRC 4,917,873.05	CRC 1,923,099.47	CRC 2,994,773.57
19	CRC 5,163,766.70	CRC 2,019,254.45	CRC 3,144,512.25
20	CRC 5,421,955.03	CRC 2,120,217.17	CRC 3,301,737.86

Nota: Elaboración propia.

Tabla 61. Valor actual neto con inversores centrales

Año	Flujos en efectivo	Valor presente	Valor Acumulado
0	-CRC 5,760,926.26	-CRC 5,760,926.26	-CRC 5,760,926.26
1	CRC 1,306,609.79	CRC 1,131,263.89	-CRC 4,629,662.37

2	CRC 1,371,940.28	CRC 1,028,421.72	-CRC 3,601,240.66
3	CRC 1,440,537.29	CRC 934,928.83	-CRC 2,666,311.83
4	CRC 1,512,564.16	CRC 849,935.30	-CRC 1,816,376.52
5	CRC 1,588,192.37	CRC 772,668.46	-CRC 1,043,708.07
6	CRC 1,667,601.98	CRC 702,425.87	-CRC 341,282.20
7	CRC 1,750,982.08	CRC 638,568.97	CRC 297,286.77
8	CRC 1,838,531.19	CRC 580,517.25	CRC 877,804.02
9	CRC 1,930,457.75	CRC 527,742.95	CRC 1,405,546.97
10	CRC 2,026,980.63	CRC 479,766.32	CRC 1,885,313.29
11	CRC 2,128,329.67	CRC 436,151.20	CRC 2,321,464.49
12	CRC 2,234,746.15	CRC 396,501.09	CRC 2,717,965.58
13	CRC 2,346,483.46	CRC 360,455.54	CRC 3,078,421.12
14	CRC 2,463,807.63	CRC 327,686.85	CRC 3,406,107.97
15	CRC 2,586,998.01	CRC 297,897.14	CRC 3,704,005.11
16	CRC 2,716,347.91	CRC 270,815.58	CRC 3,974,820.69
17	CRC 2,852,165.31	CRC 246,195.98	CRC 4,221,016.67
18	CRC 2,994,773.57	CRC 223,814.53	CRC 4,444,831.20
19	CRC 3,144,512.25	CRC 203,467.75	CRC 4,648,298.96
20	CRC 3,301,737.86	CRC 184,970.69	CRC 4,833,269.64

Nota: Elaboración propia.

La tabla 61 muestra cómo la inversión se recupera en el año 7 donde los números son positivos con un valor de CRC 297,286.77 y, después de ese año, se empieza a obtener ganancias de hasta un total de CRC 4,833,269.64 al finalizar los 20 años.

En cuanto al cálculo del TIR, se obtuvo un porcentaje del 27%; lo cual significa que, al ser el TIR mayor que el coste de oportunidad, es un proyecto de inversión que se puede aceptar básicamente porque la rentabilidad va a ser mayor a la mínima requerida.

Tabla 62. Valor actual neto inversión con microinversores

Año	Flujos en efectivo	Valor presente	Valor Acumulado
0	-CRC 9,895,381.61	-CRC 9,895,381.61	-CRC 9,895,381.61
1	1,306,609.79	CRC 1,131,263.89	-CRC 8,764,117.72
2	1,371,940.28	CRC 1,028,421.72	-CRC 7,735,696.01
3	1,440,537.29	CRC 934,928.83	-CRC 6,800,767.18
4	1,512,564.16	CRC 849,935.30	-CRC 5,950,831.87
5	1,588,192.37	CRC 772,668.46	-CRC 5,178,163.42
6	1,667,601.98	CRC 702,425.87	-CRC 4,475,737.55
7	1,750,982.08	CRC 638,568.97	-CRC 3,837,168.58
8	1,838,531.19	CRC 580,517.25	-CRC 3,256,651.33
9	1,930,457.75	CRC 527,742.95	-CRC 2,728,908.38
10	2,026,980.63	CRC 479,766.32	-CRC 2,249,142.06
11	2,128,329.67	CRC 436,151.20	-CRC 1,812,990.86
12	2,234,746.15	CRC 396,501.09	-CRC 1,416,489.77
13	2,346,483.46	CRC 360,455.54	-CRC 1,056,034.23

14	2,463,807.63	CRC 327,686.85	-CRC 728,347.38
15	2,586,998.01	CRC 297,897.14	-CRC 430,450.24
16	2,716,347.91	CRC 270,815.58	-CRC 159,634.66
17	2,852,165.31	CRC 246,195.98	CRC 86,561.32
18	2,994,773.57	CRC 223,814.53	CRC 310,375.85
19	3,144,512.25	CRC 203,467.75	CRC 513,843.61
20	3,301,737.86	CRC 184,970.69	CRC 698,814.29

Nota: Elaboración propia.

La tabla 62 muestra cómo la inversión se recupera en el año 17, donde se obtuvieron números positivos con un monto de CRC 86,561.32 y, después de ese año, se empieza a percibir ganancias de hasta CRC 698,814.29 al finalizar los 20 años.

En cuanto al cálculo del TIR, se obtuvo un porcentaje del 17%; dado a que el TIR es mayor que el coste de oportunidad se puede decir que es un proyecto de inversión que se puede aceptar básicamente porque la rentabilidad va a ser mayor a la mínima requerida.

Tabla 63. Resumen del VAN y TIR

Caso 3			
Descripción	VAN	TIR	Año de recuperación
Inversores centrales	CRC 4,833,269.64	27%	7
Microinversores	CRC 698,814.29	17%	17

Nota: Elaboración propia.

La tabla 63 muestra el resumen del valor acumulado, el porcentaje de la tasa interés de retorno y el año en que se recupera la inversión tanto cuando se usan inversores centralizados como microinversores.

Análisis del caso 4 (VAN y TIR).

El caso 4 corresponde a la generación del 50% del consumo utilizando un total de 16 paneles solares. En la tabla 64, se muestra la factura con y sin paneles solares, incluso se presenta el ahorro que se obtiene al finalizar cada año. También, se consideró un 5% de aumento en la factura por cada año. El ahorro anual que se expone en la tabla 64 se va a utilizar como el flujo de efectivo o mejor conocido como flujo de caja para calcular el valor actual neto.

El valor acumulado que se detalla en la tabla 65 y 66 corresponde a los cálculos considerando el sistema fotovoltaico con inversores y microinversores. Para el cálculo del VAN y el TIR, se

utilizan las fórmulas de la hoja de cálculo de Microsoft Excel porque son más exactas; sin embargo, se pueden emplear las fórmulas 25 y 26 descritas en el marco teórico.

Tabla 64. Ahorro anual

Año	Factura sin paneles anual	Factura con paneles anual	Ahorro anual
0	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00
1	CRC 2,145,651.72	CRC 1,289,366.36	CRC 856,285.36
2	CRC 2,252,934.31	CRC 1,353,834.68	CRC 899,099.63
3	CRC 2,365,581.02	CRC 1,421,526.41	CRC 944,054.61
4	CRC 2,483,860.07	CRC 1,492,602.73	CRC 991,257.34
5	CRC 2,608,053.08	CRC 1,567,232.87	CRC 1,040,820.21
6	CRC 2,738,455.73	CRC 1,645,594.51	CRC 1,092,861.22
7	CRC 2,875,378.52	CRC 1,727,874.24	CRC 1,147,504.28
8	CRC 3,019,147.44	CRC 1,814,267.95	CRC 1,204,879.49
9	CRC 3,170,104.81	CRC 1,904,981.35	CRC 1,265,123.47
10	CRC 3,328,610.05	CRC 2,000,230.42	CRC 1,328,379.64
11	CRC 3,495,040.56	CRC 2,100,241.94	CRC 1,394,798.62
12	CRC 3,669,792.59	CRC 2,205,254.03	CRC 1,464,538.55
13	CRC 3,853,282.21	CRC 2,315,516.74	CRC 1,537,765.48
14	CRC 4,045,946.33	CRC 2,431,292.57	CRC 1,614,653.75
15	CRC 4,248,243.64	CRC 2,552,857.20	CRC 1,695,386.44
16	CRC 4,460,655.82	CRC 2,680,500.06	CRC 1,780,155.76
17	CRC 4,683,688.62	CRC 2,814,525.06	CRC 1,869,163.55
18	CRC 4,917,873.05	CRC 2,955,251.32	CRC 1,962,621.73
19	CRC 5,163,766.70	CRC 3,103,013.88	CRC 2,060,752.81
20	CRC 5,421,955.03	CRC 3,258,164.58	CRC 2,163,790.46

Nota: Elaboración propia.

Tabla 65. Valor actual neto con inversores centrales

Año	Flujos en efectivo	Valor presente	Valor Acumulado
0	-CRC 2,880,463.13	-CRC 2,880,463.13	-CRC 2,880,463.13
1	CRC 856,285.36	CRC 741,372.61	-CRC 2,139,090.52
2	CRC 899,099.63	CRC 673,975.10	-CRC 1,465,115.43
3	CRC 944,054.61	CRC 612,704.63	-CRC 852,410.80
4	CRC 991,257.34	CRC 557,004.21	-CRC 295,406.59
5	CRC 1,040,820.21	CRC 506,367.46	CRC 210,960.88
6	CRC 1,092,861.22	CRC 460,334.06	CRC 671,294.94
7	CRC 1,147,504.28	CRC 418,485.51	CRC 1,089,780.45
8	CRC 1,204,879.49	CRC 380,441.37	CRC 1,470,221.82
9	CRC 1,265,123.47	CRC 345,855.79	CRC 1,816,077.61

10	CRC 1,328,379.64	CRC 314,414.36	CRC 2,130,491.97
11	CRC 1,394,798.62	CRC 285,831.23	CRC 2,416,323.20
12	CRC 1,464,538.55	CRC 259,846.58	CRC 2,676,169.77
13	CRC 1,537,765.48	CRC 236,224.16	CRC 2,912,393.93
14	CRC 1,614,653.75	CRC 214,749.24	CRC 3,127,143.17
15	CRC 1,695,386.44	CRC 195,226.58	CRC 3,322,369.75
16	CRC 1,780,155.76	CRC 177,478.71	CRC 3,499,848.45
17	CRC 1,869,163.55	CRC 161,344.28	CRC 3,661,192.73
18	CRC 1,962,621.73	CRC 146,676.62	CRC 3,807,869.35
19	CRC 2,060,752.81	CRC 133,342.38	CRC 3,941,211.73
20	CRC 2,163,790.46	CRC 121,220.35	CRC 4,062,432.08

Nota: Elaboración propia.

La tabla 65 muestra cómo la inversión se recupera en el año 5, cuando los números son positivos con un valor de CRC 210,960.88 y, después de ese año, se empieza obtener ganancias de hasta un total de CRC 4,062,432.08 al finalizar los 20 años. En cuanto al cálculo del TIR, se tiene un porcentaje del 35%; lo cual significa que es un proyecto de inversión que se puede aceptar porque la rentabilidad es mayor a la mínima requerida.

Tabla 66. Valor actual neto inversión con microinversores

Año	Flujos en efectivo	Valor presente	Valor Acumulado
0	-CRC 6,715,076.04	-CRC 6,715,076.04	-CRC 6,715,076.04
1	856,285.36	CRC 741,372.61	-CRC 5,973,703.43
2	899,099.63	CRC 673,975.10	-CRC 5,299,728.34
3	944,054.61	CRC 612,704.63	-CRC 4,687,023.71
4	991,257.34	CRC 557,004.21	-CRC 4,130,019.50
5	1,040,820.21	CRC 506,367.46	-CRC 3,623,652.03
6	1,092,861.22	CRC 460,334.06	-CRC 3,163,317.97
7	1,147,504.28	CRC 418,485.51	-CRC 2,744,832.46
8	1,204,879.49	CRC 380,441.37	-CRC 2,364,391.09
9	1,265,123.47	CRC 345,855.79	-CRC 2,018,535.30
10	1,328,379.64	CRC 314,414.36	-CRC 1,704,120.94
11	1,394,798.62	CRC 285,831.23	-CRC 1,418,289.71
12	1,464,538.55	CRC 259,846.58	-CRC 1,158,443.14
13	1,537,765.48	CRC 236,224.16	-CRC 922,218.98
14	1,614,653.75	CRC 214,749.24	-CRC 707,469.74
15	1,695,386.44	CRC 195,226.58	-CRC 512,243.16
16	1,780,155.76	CRC 177,478.71	-CRC 334,764.46
17	1,869,163.55	CRC 161,344.28	-CRC 173,420.18
18	1,962,621.73	CRC 146,676.62	-CRC 26,743.56
19	2,060,752.81	CRC 133,342.38	CRC 106,598.82
20	2,163,790.46	CRC 121,220.35	CRC 227,819.17

Nota: Elaboración propia.

La tabla 66 muestra que la inversión se recupera en el año 19, momento en que se obtuvieron números positivos con un monto de CRC 106,598.82 y, después de ese año, se empieza a recibir ganancias de hasta un total de CRC 227,819.17 al finalizar los 20 años.

En cuanto al cálculo del TIR, se obtuvo un porcentaje del 16%; por lo tanto, el proyecto de inversión se puede aceptar, ya que la rentabilidad es mayor a la mínima requerida.

Tabla 67. Resumen del VAN y TIR

Caso 4			
Descripción	VAN	TIR	Año de recuperación
Inversores centrales	CRC 4,062,432.08	35%	5
Microinversores	CRC 227,819.17	16%	19

Nota: Elaboración propia.

La tabla 67 muestra el resumen del valor acumulado, el porcentaje de la tasa de interés de retorno y el año en que se recupera la inversión tanto cuando se usan inversores centralizados como microinversores.

Análisis del caso 5 (VAN y TIR).

El caso 5 corresponde a la generación del 561% del consumo utilizando un total de 180 paneles solares. En la tabla 68, se muestra la factura con y sin paneles solares, incluso se presenta el ahorro que se obtiene al finalizar cada año. También, se consideró un 5% de aumento en la factura por cada año. El ahorro anual que se muestra en la tabla 68 se va a utilizar como el flujo de efectivo o mejor conocido como flujo de caja para calcular el valor actual neto.

El valor acumulado que se detalla en la tabla 69 y 70 corresponde a los cálculos considerando el sistema fotovoltaico con inversores y microinversores. Para el cálculo del VAN y el TIR, se utiliza las fórmulas de la hoja de cálculo de Microsoft Excel por ser más exactas; sin embargo, se pueden emplear las fórmulas 25 y 26 descritas en el marco teórico.

Tabla 68. Ahorro anual

Año	Factura sin paneles	Factura con paneles	Ahorro anual
0	CRC 0.00	CRC 0.00	CRC 0.00
1	CRC 2,145,651.72	CRC 565,179.78	CRC 1,580,471.94
2	CRC 2,252,934.31	CRC 593,438.77	CRC 1,659,495.53
3	CRC 2,365,581.02	CRC 623,110.71	CRC 1,742,470.31

4	CRC 2,483,860.07	CRC 654,266.25	CRC 1,829,593.83
5	CRC 2,608,053.08	CRC 686,979.56	CRC 1,921,073.52
6	CRC 2,738,455.73	CRC 721,328.54	CRC 2,017,127.19
7	CRC 2,875,378.52	CRC 757,394.96	CRC 2,117,983.55
8	CRC 3,019,147.44	CRC 795,264.71	CRC 2,223,882.73
9	CRC 3,170,104.81	CRC 835,027.95	CRC 2,335,076.87
10	CRC 3,328,610.05	CRC 876,779.34	CRC 2,451,830.71
11	CRC 3,495,040.56	CRC 920,618.31	CRC 2,574,422.25
12	CRC 3,669,792.59	CRC 966,649.23	CRC 2,703,143.36
13	CRC 3,853,282.21	CRC 1,014,981.69	CRC 2,838,300.53
14	CRC 4,045,946.33	CRC 1,065,730.77	CRC 2,980,215.55
15	CRC 4,248,243.64	CRC 1,119,017.31	CRC 3,129,226.33
16	CRC 4,460,655.82	CRC 1,174,968.18	CRC 3,285,687.65
17	CRC 4,683,688.62	CRC 1,233,716.59	CRC 3,449,972.03
18	CRC 4,917,873.05	CRC 1,295,402.42	CRC 3,622,470.63
19	CRC 5,163,766.70	CRC 1,360,172.54	CRC 3,803,594.16
20	CRC 5,421,955.03	CRC 1,428,181.16	CRC 3,993,773.87

Nota: Elaboración propia.

Tabla 69. Valor actual neto con inversores centrales

Año	Flujos en efectivo	Valor presente	Valor acumulado
0	-CRC 48,611,083.95	-CRC 48,611,083.95	-CRC 48,611,083.95
1	CRC 1,580,471.94	CRC 1,368,373.97	-CRC 47,242,709.98
2	CRC 1,659,495.53	CRC 1,243,976.34	-CRC 45,998,733.64
3	CRC 1,742,470.31	CRC 1,130,887.58	-CRC 44,867,846.06
4	CRC 1,829,593.83	CRC 1,028,079.62	-CRC 43,839,766.44
5	CRC 1,921,073.52	CRC 934,617.83	-CRC 42,905,148.61
6	CRC 2,017,127.19	CRC 849,652.58	-CRC 42,055,496.03
7	CRC 2,117,983.55	CRC 772,411.43	-CRC 41,283,084.60
8	CRC 2,223,882.73	CRC 702,192.21	-CRC 40,580,892.39
9	CRC 2,335,076.87	CRC 638,356.56	-CRC 39,942,535.83
10	CRC 2,451,830.71	CRC 580,324.14	-CRC 39,362,211.69
11	CRC 2,574,422.25	CRC 527,567.40	-CRC 38,834,644.28
12	CRC 2,703,143.36	CRC 479,606.73	-CRC 38,355,037.56
13	CRC 2,838,300.53	CRC 436,006.12	-CRC 37,919,031.44
14	CRC 2,980,215.55	CRC 396,369.20	-CRC 37,522,662.24
15	CRC 3,129,226.33	CRC 360,335.63	-CRC 37,162,326.61
16	CRC 3,285,687.65	CRC 327,577.85	-CRC 36,834,748.76
17	CRC 3,449,972.03	CRC 297,798.04	-CRC 36,536,950.71
18	CRC 3,622,470.63	CRC 270,725.50	-CRC 36,266,225.22
19	CRC 3,803,594.16	CRC 246,114.09	-CRC 36,020,111.13
20	CRC 3,993,773.87	CRC 223,740.08	-CRC 35,796,371.05

Nota: Elaboración propia.

La tabla 69 muestra cómo la inversión no se recupera ni siquiera transcurridos los 20 años de vida útil del equipo. Al finalizar el año 20, la pérdida es de CRC 35,796,371.05. Este caso podría funcionar solamente si se utilizan los paneles para generar y vender electricidad, pero no para autoconsumo puesto que la generación es excesiva.

En cuanto al cálculo del TIR, se obtuvo un porcentaje de un 1%; debido a que el TIR es menor que el coste de oportunidad, se debe rechazar este proyecto porque la rentabilidad no es la mínima requerida.

Tabla 70. Valor actual neto inversión con microinversores

Año	Flujos en efectivo	Valor presente	Valor acumulado
0	-CRC 76,387,185.95	-CRC 76,387,185.95	-CRC 76,387,185.95
1	CRC 1,580,471.94	CRC 1,368,373.97	-CRC 75,018,811.98
2	CRC 1,659,495.53	CRC 1,243,976.34	-CRC 73,774,835.64
3	CRC 1,742,470.31	CRC 1,130,887.58	-CRC 72,643,948.06
4	CRC 1,829,593.83	CRC 1,028,079.62	-CRC 71,615,868.44
5	CRC 1,921,073.52	CRC 934,617.83	-CRC 70,681,250.61
6	CRC 2,017,127.19	CRC 849,652.58	-CRC 69,831,598.03
7	CRC 2,117,983.55	CRC 772,411.43	-CRC 69,059,186.60
8	CRC 2,223,882.73	CRC 702,192.21	-CRC 68,356,994.39
9	CRC 2,335,076.87	CRC 638,356.56	-CRC 67,718,637.83
10	CRC 2,451,830.71	CRC 580,324.14	-CRC 67,138,313.69
11	CRC 2,574,422.25	CRC 527,567.40	-CRC 66,610,746.28
12	CRC 2,703,143.36	CRC 479,606.73	-CRC 66,131,139.56
13	CRC 2,838,300.53	CRC 436,006.12	-CRC 65,695,133.44
14	CRC 2,980,215.55	CRC 396,369.20	-CRC 65,298,764.24
15	CRC 3,129,226.33	CRC 360,335.63	-CRC 64,938,428.61
16	CRC 3,285,687.65	CRC 327,577.85	-CRC 64,610,850.76
17	CRC 3,449,972.03	CRC 297,798.04	-CRC 64,313,052.71
18	CRC 3,622,470.63	CRC 270,725.50	-CRC 64,042,327.22
19	CRC 3,803,594.16	CRC 246,114.09	-CRC 63,796,213.13
20	CRC 3,993,773.87	CRC 223,740.08	-CRC 63,572,473.05

Nota: Elaboración propia.

La tabla 70 muestra cómo la inversión no se recupera ni siquiera transcurridos los 20 años de vida útil del equipo. Al finalizar el año 20, la pérdida es de CRC 63,572,473.05. Este caso podría funcionar solamente si se utilizan los paneles para generar y vender electricidad, pero no para autoconsumo puesto que la generación es excesiva.

En cuanto al cálculo del TIR, se obtuvo un porcentaje de un -3%. Cuando el TIR es menor que el coste de oportunidad, se puede decir que es un proyecto de inversión se debe rechazar debido que la rentabilidad no es la mínima requerida.

Tabla 71. Resumen del VAN y TIR

Caso 5			
Descripción	VAN	TIR	Año de recuperación
Inversores centrales	-CRC 35,796,371.05	1%	No se recupera
Microinversores	-CRC 63,572,473.05	-3%	No se recupera

Nota: Elaboración propia.

La tabla 71 muestra el resumen del valor acumulado, el porcentaje de la tasa de interés de retorno y el año en que se recupera la inversión tanto cuando se usan inversores centralizados como microinversores.

La tabla 72 muestra un resumen comparativo de los 5 casos, se coteja el valor actual acumulado, la tasa interna de retorno y el tiempo de recuperación tanto para la implementación del sistema fotovoltaico con inversores centralizados como microinversores. Para hacer el cálculo de valor actual neto se utilizó una tasa de descuento de 15.5%. Este porcentaje corresponde al costo de un crédito en colones con el Banco Nacional para paneles solares a un plazo de 20 años. Este dato fue provisto por el banco nacional el día 29 de noviembre de 2018.

Tabla 72. Resumen comparativo del VAN y el TIR

Descripción	Cantidad de paneles solares	VAN Acumulado con inversores centrales	TIR con inversores	Año de recuperación con inversores centrales	VAN Acumulado con micro inversores	TIR con micro inversores	Año de recuperación con micro inversores
Caso 1	40	CRC 1,580,499.93	18%	15	-CRC 3,795,744.75	12%	No se recupera
Caso 2	32	CRC 4,172,741.42	22%	9	-CRC 775,239.93	15%	No se recupera
Caso 3	24	CRC 4,833,269.64	27%	7	CRC 698,814.29	17%	17
Caso 4	16	CRC 4,062,432.08	35%	5	CRC 227,819.17	16%	19
Caso 5	180	-CRC 35,796,371.05	1%	No se recupera	-CRC 63,572,473.05	-3%	No se recupera

Nota: Elaboración propia.

Costos de materiales eléctricos y mecánicos

Los costos de materiales eléctricos tales como cables, protecciones, tableros, conexiones, toma corriente, apagadores, etc.; así como los materiales para las instalaciones mecánicas tales como tuberías, conexiones, llaves, válvulas, bombas, entre otros, no se estimaron en este proyecto puesto que quedan fuera de los objetivos propuestos. Los precios de los materiales tienen costos bastantes similares entre los establecimientos más conocidos y, de igual manera, el no incluir dichas cotizaciones en este proyecto no impacta el análisis financiero, puesto que el objetivo principal fue analizar los costos asociados de implementar un sistema de energía renovable que fuese amigable con el ambiente y permitiera ahorrar dinero a un mediano plazo. Por lo tanto, el costo de los materiales, así como la escogencia de ellos se consideran dentro de las recomendaciones que se sugieren implementar o investigar.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Para el presente trabajo, se desarrolló una propuesta de diseño para darle una solución al sistema de iluminación, determinación de cargas generales y especiales con base en la aplicación de Código Eléctrico Nacional NEC en su versión 2008. Se propusieron soluciones acordes a una instalación óptima y segura para las personas y cualquier otro ser vivo, como las mascotas que vivan en dicha residencia. Como se logra apreciar en el capítulo 4, se desarrolló una metodología paso a paso de cómo calcular y dimensionar cada circuito dependiendo del tipo de ocupación y carga eléctrica; esto dio como resultado las características técnicas de los circuitos alimentadores, ramales requeridos para satisfacer el diseño. Además de diseñar acorde al código eléctrico, también se utilizan técnicas como el método de lúmenes en conjunto con la norma INTECO para seleccionar correctamente la cantidad adecuada de lámparas y luminarias para los diferentes recintos y así garantizar que la iluminación cumple con los niveles requeridos.
2. En esta tesis, se investigó y diseñó una solución para el sistema mecánico de bombeo que se conecta al tanque de captación para uso de riego y también una solución para el sistema de bombeo de piscina y fuente. Como se muestra en el capítulo 4, en la sección del sistema mecánico, se desarrolló una metodología paso a paso. Dicha metodología se basó en las normas propuestas por el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificios para garantizar el correcto funcionamiento y los requisitos mínimos de caudal y presión. Se consideraron las dimensiones de la piscina, fuente y tanque de captación, así como de las pérdidas de presión que se generan por los tramos de tubería recta y accesorios. Además, se calculó y determinó por medio de las fórmulas de Hazen-Williams que las bombas adecuadas para dichas instalaciones son bombas de $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ y 1 caballo de fuerza. Es importante señalar en cuanto a los sistemas de bombeo que dichas bombas deben mantener un caudal adecuado tanto para la recirculación del agua en un tiempo óptimo en la piscina y la fuente como también la presión y caudal necesario para tubería de riego de jardín.
3. Para este proyecto, se investigó y propuso un sistema mecánico de reutilización de agua pluvial para uso de actividades básicas que permita aprovechar el agua de lluvia en tareas

como el de riego de jardín, lavado y limpieza de terrazas entre otras que no requieran de agua 100% potable. Como se muestra en el capítulo 4, en la sección del sistema mecánico, se realizó una serie de cálculos basados en las normas propuestas por el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificios, donde se calculó un tanque de almacenamiento de 2500 litros necesario según la dimensión del techo, la escorrentía y el área geográfica. También se propuso la bomba necesaria de al menos $\frac{3}{4}$ de caballos de fuerza según los requerimientos de la norma.

4. En esta tesis, se valoró el diseño de un sistema fotovoltaico capaz de suplir las demandas energéticas de dicha residencia; para esto fue necesario estimar los consumos energéticos según recomendaciones, cálculos y estudios propuestos por entidades gubernamentales como MINAE, ICE y CNFL que constantemente verifican y proponen mejoras para eficiencia energética. Como se muestra en el capítulo 4, en la sección de consumos energéticos, los resultados que se obtuvieron fueron de 1309 kilowatts mensuales. Con los datos obtenidos de consumos, se procedió a verificar la irradiación solar en la provincia de Puntarenas por medio de la base de datos de la NASA, donde se detalla en el capítulo 4, tabla 21, que el mes de menor irradiación es noviembre con un factor de irradiación de 3.5 kWh/m²/día; estos datos son esenciales para estimar la cantidad de paneles solares necesarios y el mejor diseño. Se calcularon diferentes escenarios donde se consideró el 100% del área de techos; la generación con respecto al consumo en un 125%, 100%, 75% y 50% para verificar cuál sistema es óptimo; y con base en estos datos se concluyó que para una residencia los mejores resultados se obtienen al 100% o 75% de generación con respecto al consumo, puesto que el ahorro es más significativo. Dichos resultados se detallan en el capítulo 4, en la sección de análisis financiero, representados con el caso número 2 y 3.
5. Se concluye con base en los cálculos financieros realizados por los métodos del VAN y el TIR que la mejor opción económicamente hablando es un sistema fotovoltaico con inversores centralizados donde se obtiene una tasa interna de retorno del 27% en un periodo de 20 años con respecto a la inversión inicial y una tasa de interés del 15.5%. La

inversión se recupera en el año séptimo y genera un valor actual neto de cuatro millones ochocientos treinta tres mil doscientos sesenta y nueve colones aproximadamente.

Recomendaciones

1. Se recomienda realizar un estudio detallado sobre iluminación que permita determinar la mejor iluminación para cada recinto dependiendo de las características de las lámparas y luminarias. De igual manera, se aconseja utilizar iluminación tipo LED o bien fluorescentes, los cuales que son de bajo consumo de electricidad, en lugar de iluminación con lámparas incandescentes.
2. Se aconseja utilizar un sistema fotovoltaico de 32 paneles solares con una potencia generada de 325 watts por cada módulo y emplear inversores centralizados en lugar de microinversores para que la ganancia económica sea significativa.
3. Se sugiere evaluar la implementación del uso del agua pluvial para uso de servicios sanitarios o alimentación de la fuente.
4. Se recomienda que la instalación de paneles solares se haga por medio de una compañía especializada en dichos sistemas y asesorarse con respecto al mantenimiento básico y monitoreo que conlleva el sistema fotovoltaico.
5. Se aconseja definir y analizar los diferentes componentes, materiales y marcas para la instalación eléctrica, tales como el tipo de cables, protecciones, tableros, conectores, apagadores, tomas corrientes, etc. Además de cotizar en diferentes lugares dichos materiales.
6. Se sugiere definir y analizar los diferentes componentes, materiales y marcas para la instalación mecánica, tales como el tipo de tubos, conexiones, sellos, bombas, filtros etc. Además de cotizar en diferentes lugares dichos materiales.

CAPÍTULO 6: PROPUESTA

Propuesta

Según los cálculos desarrollados en el capítulo 4 del presente trabajo, se elabora una propuesta para dar una solución al diseño del sistema eléctrico; por lo tanto, se propone y recomienda utilizar dichos cálculos realizados que se basan en las normas de seguridad que establece la ley de Costa Rica por medio del NEC 2008; por ende, se incluyen los planos y la memoria de cálculo. Los circuitos se detallan a continuación:

1. Para el circuito de iluminación, se establecieron 5 circuitos, 3 para los diferentes recintos de la residencia, uno para exteriores y uno para piscina y fuente con el fin de evitar sobre cargas en los circuitos y sea fácil su mantenimiento. Según método de lúmenes y norma INTECO, se seleccionaron 3 tipos de lámparas donde su distribución se detalla en la tabla 3 y sus características a continuación:
 - a. P24971-36 (BULBO P/PENDANT LED 30W, 3.0K, 2400 lm, 3000 k)
 - b. P25940-36 (SYL-LIGHTER LED Ø220 21W, 3.0K, 1800 lm, 3000 k)
 - c. P26199-36 (DOWN LIGHT SPOT GIRO 6.5W, 3.0K, 560 lm, 3000 k)
2. Tres circuitos para toma corrientes distribuidos en la residencia
3. Se realizaron un circuito para baños de 1500 voltamperios
4. Tres circuitos para electrodomésticos pequeños de 1500 voltamperios
5. Un circuito de lavandería de 1500 voltamperios
6. Siete circuitos para cargas fijas (refrigeradora, tanque de agua caliente, lavaplatos, extractor de grasa, y bombas de $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ y 1 caballo de fuerza)
7. Un circuito para la secadora de 5000 voltamperios
8. Un circuito para el servicio de cocción de 9600 voltamperios
9. Cinco circuitos para aires acondicionados. Se seleccionaron dos unidades de aire acondicionado de 24000 BTU, dos unidades de 18000 BTU y una unidad de 12000 BTU

Dichos circuitos se detallan a continuación:

Tabla 73. Resumen de circuitos en tablero principal

Circuito	Descripción
1	TOMAS CUARTOS C Y D
2 y 4	COCINA
3	TOMAS CUARTOS A Y B
5	TOMAS BAÑOS
6 y 8	SECADORA
7	TOMAS SALA
9	TOMAS COCINA #1 ELEC VARIOS
10 y 12	AIRE ACONDICIONADO CUARTO C
11	TOMAS COCINA #2 EXTRACTOR
13	TOMAS CUARTO ELECTRICO
14 y 16	AIRE ACONDICIONADO CUARTO D
17	TOMAS BODEGA
18 y 20	BOMBA POTABLE
19	TOMAS LAVANDERIA
21	TOMAS SALA TV
22	ILUMINACION EXTERIOR
23	TOMAS EXTERIORES
24	ILUMINACION INTERIOR
25	TOMAS COCHERA
26	ILUMINACION PASILLOS Y FUENTE
27	TOMA LAVAPLATOS
28	ILUMINACION COCINA
29	TOMA MICROONDAS
30	ILUMINACION INTERIOR 2
31	TOMA REFRIGERADORA
32 y 34	AIRE ACONDICIONADO CUARTO A
35 y 37	TANQUE DE AGUA CALIENTE
36 y 38	AIRE ACONDICIONADO CUARTO B
39 y 41	AIRE ACONDICIONADO CUARTO TV
A	ACOMETIDA

Nota: Elaboración propia.

Tabla 74 Resumen de circuitos en tablero de piscina y fuente

Circuito	Descripción
1	TOMA CLORINADOR
2 y 4	BOMBA PISCINA

3	TOMA CONTROL DE BOMBAS
5	NO EN USO
6 y 8	BOMBA FUENTE
7	NO EN USO
9	NO EN USO
10	ILUMINAION FUENTE
12	ILUMINACION PISCINA
14	ILUMINACION FUENTE PIEDRA

Nota: Elaboración propia.

El total de carga instalada es de 66939 voltamperios para una carga demandada de 45817.25 voltamperios y una carga para el neutro de 36412.25 voltamperios. Con base en las cargas, se seleccionan los conductores para las fases de calibre 3/0AWGTHHNCU, puesto que este conductor puede manejar hasta 200 amperios. Para el conductor de neutro, se selecciona un calibre 2/0AWGTHHNCU que puede soportar hasta 175 amperios y un conductor para puesta a tierra calibre 4AWGTHHNCU que puede manejar hasta 85 amperios. En cuanto a los interruptores de protección, se recomiendan 2 de 200 amperios.

Tabla 75. Resumen de carga instalada, carga demandada y neutro

Circuitos	Carga instalada en voltamperios	Carga demandada en voltamperios	Neutro en voltamperios
Iluminación y tomas	21780	12198	12198
Baños	1500		
Electrodomésticos pequeños	4500		
Lavandería	1500		
Subtotal	29280		
Salidas fijas			
Tanque de agua caliente	5500	9914.25	5789.25
Refrigeradora	500		
Lavaplatos	2400		
Extractor de grasa	216		
Bomba de riego ½ HP, 127 voltios	1245		
Bomba de la fuente ¾ HP, 220 voltios	1518		
Bomba piscina 1 HP, 230 voltios	1840		
Subtotal	13219		

Secadora	5000	5000	3500
Cocción	9600	8000	5600
Motor más grande	0	1840	460
Climatización	8340	8340	8340
Total	65439	45292.25	36412.25

Nota: Elaboración propia.

Tabla 76. Resumen de los conductores para fases, tierra y neutro

	Tipo de cable	Calibre de cable (AWG)	Material del conductor	Modelo completo del conductor	Corriente máxima	Interruptor de protección
Fases	THHN	3/0	Cobre (Cu)	3/0AWGTHHNCU	200	200
Neutro	THHN	2/0	Cobre (Cu)	2/0AWGTHHNCU	175	N/A
Tierra	THHN	4	Cobre (Cu)	4AWGTHHNCU	85	N/A

Nota: Elaboración propia.

Se propone para el sistema de almacenamiento de agua lluvia según los cálculos del capítulo 4 un tanque de no más de 2500 litros que pueda utilizarse para el riego de jardín considerando para el área de captación un área de techo de 150 metros cuadrados. Un tanque de mayor capacidad por sus dimensiones sería difícil de ubicar tanto en interiores como exteriores. El tipo de tanque sugerido es tipo aljibes, que es distribuido por Rotoplas Costa Rica. Este tanque por ser diseñado para captación de agua pluvial permite que su instalación se vuelva sencilla y se pueda instalar en exteriores al aire libre, puesto que este tipo de tanque está diseñado con una capa de protección ultravioleta y capa interna antibacterial.

Los sistemas de bombeo seleccionados, según los cálculos del capítulo 4 en la sección de sistema mecánico, muestran que para el sistema de riego se puede emplear una bomba centrífuga modelo CM 050/23M distribuida por Rotoplas Costa Rica de ½ caballo de fuerza, la cual puede suministrar un caudal máximo de 28 GPM y una presión de 22 metros columna de agua, incluso considerando las pérdidas aproximadas para el sistema de riego. Con la implementación de esta bomba, se obtiene una presión al final de la tubería de 17.42 metros en la columna de agua que cumple con la norma del Código de Instalaciones Hidráulicas del CFIA.

Para el sistema de bombeo para piscina, se recomienda una bomba de 1 caballo de fuerza SuperFlo de la marca Pentair con una capacidad de 85 GPM que permite recircular el agua de la piscina en un lapso 4 horas considerando las pérdidas aproximadas de 4.58 metros de la columna de agua y; para el sistema de bombeo de la fuente, se sugiere una bomba de 75 GPM que permite recircular el agua de la fuente en un lapso de 2 horas tomando en cuenta las pérdidas aproximadas de menos de 1 metro columna de agua.

Tabla 77. Resumen bombas y pérdidas

Descripción	Potencia en hp	Marca	Modelo	Caudal en GPM	Pérdidas estimadas en mca
Riego	1/2	Rotobomba	CM 050/23M	28	4.58
Fuente	3/4	Pentair	SuperFlo	75	6.08
Piscina	1	Pentair	SuperFlo	85	0.804

Nota: Elaboración propia.

La solución propuesta para el ahorro del consumo energético en la residencia es por medio de un sistema de energías renovables amigables con el ambiente. Mediante cálculos matemáticos que incluyen el análisis de la radiación solar en la provincia de Puntarenas, el área disponible de techos y la potencia generada por cada módulo solar se determinó que un sistema fotovoltaico de 27 paneles solares con inversores centralizados puede ahorrar anualmente un total de CRC 1,580,471.8. La cotización se realizó por medio del Banco Nacional de Costa Rica. La inversión inicial es de CRC 8,641,970.48, la cual estima un costo por kWp de 778,66 colones (1.34 dólares). El Banco Nacional brinda facilidades de pago con oportunidades de financiamiento durante un periodo de hasta 20 años con una tasa de interés fija de 15.5% durante el periodo completo. El análisis financiero reveló que dicha inversión es totalmente aceptable asumiendo el financiamiento con el 15.5% durante 20 años, puesto que se recupera en el año séptimo con una tasa de recuperación del 27% y un valor acumulado actual neto de CRC 4,833,269.64 durante un periodo de 20 años que es el estimado de tiempo de vida útil.

Tabla 78. Ahorro anual

Gasto anual con paneles	CRC 565,179.9
Gasto anual sin paneles	CRC 2,145,651.7

Ahorro anual	CRC 1,580,471.8
--------------	-----------------

Nota: Elaboración propia.

Tabla 79. Valor acumulado en 20 años

Año	Valor presente	Valor Acumulado
0	-CRC 5,760,926.26	-CRC 5,760,926.26
1	CRC 1,131,263.89	-CRC 4,629,662.37
2	CRC 1,028,421.72	-CRC 3,601,240.66
3	CRC 934,928.83	-CRC 2,666,311.83
4	CRC 849,935.30	-CRC 1,816,376.52
5	CRC 772,668.46	-CRC 1,043,708.07
6	CRC 702,425.87	-CRC 341,282.20
7	CRC 638,568.97	CRC 297,286.77
8	CRC 580,517.25	CRC 877,804.02
9	CRC 527,742.95	CRC 1,405,546.97
10	CRC 479,766.32	CRC 1,885,313.29
11	CRC 436,151.20	CRC 2,321,464.49
12	CRC 396,501.09	CRC 2,717,965.58
13	CRC 360,455.54	CRC 3,078,421.12
14	CRC 327,686.85	CRC 3,406,107.97
15	CRC 297,897.14	CRC 3,704,005.11
16	CRC 270,815.58	CRC 3,974,820.69
17	CRC 246,195.98	CRC 4,221,016.67
18	CRC 223,814.53	CRC 4,444,831.20
19	CRC 203,467.75	CRC 4,648,298.96
20	CRC 184,970.69	CRC 4,833,269.64

Nota: Elaboración propia.

REFERENCIAS

Bibliografía

- Abella, M. (s.f.a). *Sistemas Fotovoltaicos*. Madrid: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
- Abella, M. (s.f.b). *Sistemas fotovoltaicos*. Recuperado de: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf
- Arnat, I. (28 de octubre de 2011). *Aire acondicionado Coolerado*. Recuperado de: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-acondicionado-comercial/aire-acondicionado-eficiente-de-coolerado.html>
- Autoridad Reguladora de Servicios Públicos. (2016). *Artículos sobre la ley de supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión AR-NT-SUCOM*. Recuperado de: https://aresep.go.cr/images/documentos/ENERGIA/4.Normativa/Normativa_AR-NT-SUCOM__actualizada_a_febrero_2016.docx
- Autoridad Reguladora de Servicios Públicos. (23 de febrero de 2016). *Planeación, Operación, y Acceso, al Sistema Eléctrico Nacional (AR-NT-POASEN)*. Recuperado de: https://aresep.go.cr/images/documentos/ENERGIA/4.Normativa/AR-NT-POASEN-2015_Version_actualizada_a_febrero_2016.docx
- Calderón, L. (2013). *Evaluación del rendimiento comercial y financiero de híbridos de tomate costarricense (Solanum lycopersicum L.) para consumo fresco en Santa Ana, San José, Costa Rica*. (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Carrier. (2018). *Calculador de Frigorías*. Recuperado de: <https://www.carrier.com.ar/calculador-de-frigorias/>
- Castilla N., Blanca V., Martínez, A., y Pastor, R. (1995). *LUMINOTECNIA: Cálculo según método de los lúmenes*. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12833/art%C3%ADculo%20docente%20C%C3%A1lculo%20m%C3%A9todo%20de%20los%20l%C3%BAmenes.pdf>

CERTIFICADOS ENERGÉTICOS. (s.f.). *Energía solar y sus beneficios ¿Qué es el efecto fotovoltaico?* Recuperado de: <https://www.certificadosenergeticos.com/energia-solar-beneficios-que-efecto-fotovoltaico>

Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. (07 de febrero de 2017). *Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (Edición 2017)*. Recuperado de:

http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=83561&nValor3=107558&strTipM=TC

Compañía Nacional de Fuerza y Luz. (2018). *Calculadora Energética*. Recuperado de: <https://www.cnfl.go.cr/calculadora-energetica-cnfl>

Compañía Nacional de Fuerza y Luz [CNFL]. (s.f.). *Descubra al más gastón*. Recuperado de: https://www.cnfl.go.cr/documentos/eficiencia/brochure_mas_gaston.pdf

De La Peña, R. (2010). *Ingeniería Eléctrica en el marco del desarrollo sostenible: tendencias y aplicaciones. Parte II*. (Tesis de bachillerato). Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

Disyuntor. (s.f.). En *Wikipedia*. Recuperado el 16 de diciembre de 2017 de <https://es.wikipedia.org/wiki/Disyuntor>

Disyuntor magnético. (s.f.). En *Wikipedia*. Recuperado el 15 de enero de 2016 de https://es.wikipedia.org/wiki/Disyuntor_magn%C3%A9tico

Disyuntor magnetotérmico. (s.f.). En *Wikipedia*. Recuperado el 10 de octubre de 2018 de https://es.wikipedia.org/wiki/Interruptor_magnetot%C3%A9rmico

Energía solar fotovoltaica. (s.f.). En *Wikipedia*. Recuperado el 9 de noviembre de 2018 de https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica

FARGO. (s.f.). *HIDRÁULICA EN TUBERÍAS A PRESIÓN*. Recuperado de: <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/HIDRAULICA%202015.pdf>

Ferro, L. (2015). *Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna*. Argentina: Universidad Nacional de Mar del Plata.

Frigoría. (s.f.). En *Wikipedia*. Recuperado el 20 de julio de 2018 de <https://es.wikipedia.org/wiki/Frigor%C3%ADa>

General Electric. (s.f.). *Protección de Falla a Tierra*. Recuperado de: <http://apps.geindustrial.com/publibrary/checkout/LAPL0079?TNR=Articles%7CLAPL0079%7Cgeneric>

Gilmore, J. (2006). *Estudio del potencial solar en costa rica*. San José: Instituto Costarricense de Electricidad.

González, M. (17 de Mayo de 2015). *Cálculo de capacidad de los equipos de aire acondicionado en base al volumen del espacio*. Recuperado de: <http://airecondicionadomiguel.blogspot.com/>

Grupo Elektra. (2014). *Hora solar pico*. Recuperado de: <https://www.grupoelektra.es/blog/wp-content/uploads/2014/10/como-somos-los-delektra-que-son-las-HSP.pdf>

Guardamotor. (s.f.). En *Wikipedia*. Recuperado el 7 de mayo de 2018 de <https://es.wikipedia.org/wiki/Guardamotor>

Hora solar pico. (s.f.). En *Wikipedia*. Recuperado el 30 de octubre de 2018 de https://es.wikipedia.org/wiki/Hora_solar_pico

Ingemecánica. (s.f.). *Cálculo de instalaciones de bombeo de agua*. Recuperado de: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn206.html>

Ingeniería Civil. (s.f.). *Principios de la Hidráulica Que Necesitas Conocer: Las Pérdidas de Energía – Parte I: Pérdidas por Fricción*. Recuperado de: <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/principios-de-la-hidraulica-que-necesitas-conocer-las-p%C3%A9rdidas-de-energia-%E2%80%93-parte-i-p%C3%A9rdidas-por-friccion/>

Instituto Costarricense de Electricidad. (s.f.). *Guía para calcular el consumo de electricidad, y tablas de consumo de electrodomésticos*. Recuperado de: <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/7a8a521a-219f-43fa-a751-90562cea7cfc/Consumo+de+electrodom%C3%A9sticos+en+el+hogar%2C+cualcule.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m7EvvEV>

- Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2000). INTECO INTE 31-08-06-2000. Recuperado de: <http://higieneindustrialyambiente.com/userfiles/INTE2031-08-06-00iluminacion.pdf>
- Loaeza, F., Carmona, C., y Tenorio, J. (2012). *Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCCR) para uso en luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco*. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Adolfo López Mateos.
- Masvoltaje. (2016). *¿Qué tipos de cables eléctricos existen?* Recuperado de: <https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12>
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2012). *Encuesta de Consumo Energético Nacional en el Sector Residencial de Costa Rica 2012*. San José, Costa Rica: MINAE.
- Ministerio de Ambiente y Energía. (14 de septiembre de 2015). *Reglamento generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables modelo de contratación medición neta sencilla Reglamento generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables modelo de contratación medición neta sencilla N.39220-MINAE*. Recuperado de: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80310&nValor3=101897&strTipM=TC
- National Aeronautics and Space Administration. (2018). *Power Surface meteorology and Solar Energy (SSE)*. Recuperado de: <https://power.larc.nasa.gov/>
- National Fire Protection Association. (2008). *NFPA 70 National Electrical Code*. USA: National Fire Protection Association.
- O'neal Coto, K. (22 de julio de 2015). *Ingenieros eléctricos investigan posición óptima de paneles solares*. Recuperado de: <https://semanariouniversidad.com/suplementos/ingenieros-electricos-investigacion-posicion-optima-de-paneles-solares/>
- Organización Panamericana de la Salud. (2004). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. Recuperado de: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/cd47/lluvia.pdf>

Prieto R. (3 de agosto de 2012). *¿Cómo calcular nuestro consumo eléctrico para después poder dimensionar nuestra instalación de suministro eléctrico mediante energías renovables?* Recuperado de: <https://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2012/08/como-calcular-nuestro-consumo-electrico.html>

Progclass. (s.f.). *GENERADOR FOTOVOLTAICO*. Recuperado de: <https://progclass.files.wordpress.com/2011/10/generador-fotovoltaico.pdf>

Puesta a tierra. (s.f.). En *Wikipedia*. Recuperado el 22 de octubre de 2018 de https://es.wikipedia.org/wiki/Puesta_a_tierra

Quirós, J. (2004). *Implementación de un sistema energético renovable no convencional para la unidad de cuidados paliativos de Alajuela*. Universidad de Costa Rica.

Ruelas Gómez, R. (Julio de 2012). *Cálculos de caída de tensión en baja tensión*. Recuperado de: https://www.ruelsa.com/notas/rt/rt115_caidadetension.pdf

Solary. (s.f.). *Guía comparativa inversor vs microinversor*. Recuperado de: https://www.solary.mx/sistemas/content/6-solary_microinversor_vs_inversor_tradicional

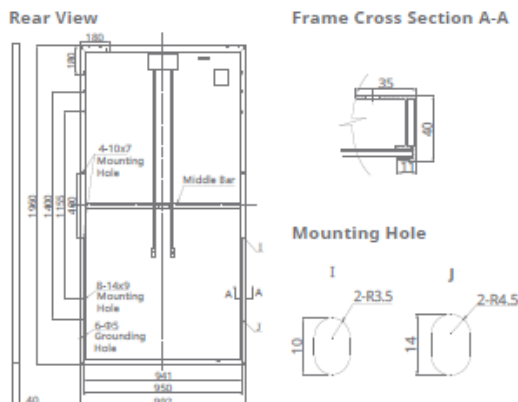
Tasa interna de retorno. (s.f.). En *Wikipedia*. Recuperado el 26 de agosto de 2018 de https://es.wikipedia.org/wiki/Tasa_interna_de_retorno

Valor actual neto. (s.f.). En *Wikipedia*. Recuperado el 17 de julio de 2018 de https://es.wikipedia.org/wiki/Valor_actual_netto

ANEXOS

Anexo A. Hoja de datos de los paneles solares

ENGINEERING DRAWING (mm)



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Nominal Max. Power (Pmax)	315 W	320 W	325 W	330 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.6 V	36.8 V	37.0 V	37.2 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.61 A	8.69 A	8.78 A	8.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.1 V	45.3 V	45.5 V	45.6 V
Short Circuit Current (Isc)	9.18 A	9.26 A	9.34 A	9.45 A
Module Efficiency	16.20%	16.46%	16.72%	16.97%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NOCT*

CS6U	315P	320P	325P	330P
Nominal Max. Power (Pmax)	228 W	232 W	236 W	239 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	33.4 V	33.6 V	33.7 V	33.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.84 A	6.91 A	6.98 A	7.05 A
Open Circuit Voltage (Voc)	41.5 V	41.6 V	41.8 V	41.9 V
Short Circuit Current (Isc)	7.44 A	7.50 A	7.57 A	7.66 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

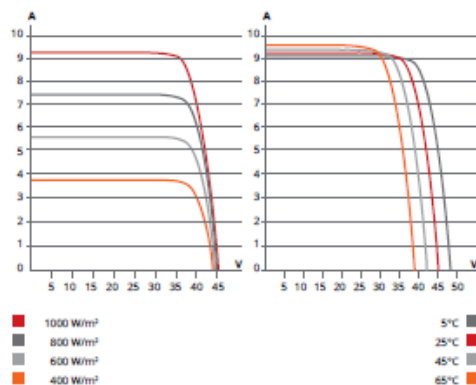
PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.0 % from irradiances, between 1000 W/m² and 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

CS6U-320P / I-V CURVES



MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1960 × 992 × 40 mm (77.2 × 39.1 × 1.57 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm ² (IEC) or 4 mm ² & 12 AWG 1000V (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series or PV2 series
Per Pallet	26 pieces, 635 kg (1400 lbs)
Per container (40' HQ)	624 pieces

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.41 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45 ± 2 °C

PARTNER SECTION



Anexo B. Hoja de datos de los inversores ABB y de los microinversores AP Systems

- RS-485 communication interface (for connection to laptop or data logger)
- Available with the optional VSN300 Wifi Logger Card for easy and affordable wireless monitoring
- Compliant with NEC 690.12 when used with ABB's Rapid Shutdown device
- Comes standard with DC Arc Fault Circuit Interruptor (AFCI) to comply with NEC 690.11



Technical data and types

Type code	PVI-5000-OUTD-US			PVI-6000-OUTD-US		
General Specifications						
Nominal output power	5000W			6000W		
Maximum output power	5000W			6000W		
Rated grid AC voltage	208V	240V	277V	208V	240V	277V
Input side (DC)						
Number of Independent MPPT channels	2			2		
Maximum useable power for each channel	4000W			4000W		
Absolute maximum voltage (V _{max})	600V			600V		
Start-up voltage (V _{start})	200V (adj. 120-350)			200V (adj. 120-350)		
Full power MPPT voltage range	145-530V			175-530V		
Operating MPPT voltage range	0.7 x V _{start} - 580V (≥90V)			0.7 x V _{start} - 580V (≥90V)		
Maximum current (I _{dcmax}) for both MPPT in parallel	35A			35A		
Maximum useable current per channel	18A			18A		
Maximum short circuit current per channel	22A			22A		
Number of wire landing terminals per channel	2 Pairs			2 Pairs		
Array wiring termination	Terminal block, pressure clamp, AWG20-AWG8					
Output side (AC)						
Grid connection type	1Ø/2W	Split-Ø/3W	1Ø/2W	1Ø/2W	Split-Ø/3W	1Ø/2W
Adjustable voltage range (V _{min} -V _{max})	183-226V	221-284V	244-304V	183-226V	211-284V	244-304V
Grid frequency	60Hz			60Hz		
Adjustable grid frequency range	57-60.5Hz			57-60.5Hz		
Maximum current (I _{ac(rms)}) A _{99%}	27A	23A	20A	30A	28A	24A
Power factor	> 0.995 (adjustable to ±0.8)					
Total harmonic distortion at rated power	< 2%					
Contributory fault current ¹	38.25 A _{ac} / 25.63A _{ac}	36.5 A _{ac} / 25.81A _{ac}	31.75 A _{ac} / 22.45A _{ac}	38.25 A _{ac} / 25.63A _{ac}	36.5 A _{ac} / 25.81A _{ac}	31.75 A _{ac} / 22.45A _{ac}
Grid wiring termination type	Terminal block, pressure clamp, AWG20-AWG4					
Input						
Reverse polarity protection	Yes					
Over-voltage protection type	Varistor, 2 for each channel					
PV array ground fault detection	Pre start-up R _{sc} and dynamic GFDI (requires floating arrays)					
Output						
Anti-islanding protection	Meets UL1741 / IEEE1547 requirements					
Over-voltage protection type	Varistor, 2 (L ₁ -L ₂ /L ₁ -G)					
Maximum AC OCPD rating	35A	30A	25A	40A	35A	30A
Efficiency						
Maximum efficiency	97.1%			97.1%		
CEC efficiency	96%	96.5%	96.5%	96%	96.5%	96.5%
User Interface	Graphic display					
Operating performance						
Stand-by consumption	<8W _{avg}			<8W _{avg}		
Nighttime consumption	<0.6W _{avg}			<0.6W _{avg}		
Communication						
User-interface	16 characters x 2 lines LCD display					
Remote monitoring (1xRS485 incl.)	VSN700 Data Logger (opt.), VSN300 Wifi Logger Card (opt.)					
Environmental						
Ambient air operating temperature range	-13°F to +140°F (-25°C to +60°C)			-13°F to +140°F (-25°C to +60°C) with derating above 122°F (50°C)		
Ambient air storage temperature range	-40°F to +176°F (-40°C to +80°C)			-40°F to +176°F (-40°C to +80°C)		
Relative humidity	0-100% RH condensing			0-100% RH condensing		
Acoustic noise emission level	< 50 db (A) @1m			< 50 db (A) @1m		
Maximum operating altitude without derating	6560ft (2000m)			6560ft (2000m)		

APsystems YC500A Microinverter Datasheet

INPUT DATA (DC)

MPPT Voltage Range	22-45V
Maximum Input Voltage	55V
Maximum Input Current	12A X 2

OUTPUT DATA (AC)

Rated Output Power	500W
Maximum Output Current	2.08A @ 240V 2.4A @208V
Nominal Output Voltage/Range - 240V	240V/211V-264V*
Nominal Output Voltage/Range - 208V	208V/183V-229V*
Nominal Output Frequency/Range	60Hz/ 59.3-60.5Hz***
Power Factor	>0.99
Total Harmonic Distortion	<3%
Maximum Units Per Branch	7 per 20A @ 240V 6 per 20A @ 208V

EFFICIENCY

Peak Efficiency	95.5%
CEC Weighted Efficiency**	95%
Nominal MPP Tracking Efficiency	99.5%

MECHANICAL DATA

Storage Temperature Range	-40°F to +185°F (-40°C to +85°C)
Operating Temperature Range	-40°F to +149°F (-40°C to +65°C)
Dimensions (WxHxD) inches	8.75" x 6.5" x 1.1"
Dimensions (WxHxD) mm	221mm x 167mm x 29mm
Weight	5.5 lbs (2.5kg)
Enclosure Rating	NEMA 6
Cooling	Natural Convection - No Fans

FEATURES & COMPLIANCE

Communication	Power line (PLC)
Warranty	10 years standard, extendable to 25 years
Emissions & Immunity (EMC) Compliance	FCC PART 15, ANSI C63.4 2003, ICES-003
Safety & Grid Connection Compliance	IEEE1547, UL1741, CSA C22.2 No. 107.1-01, NEC 2014 690.12, NEC 2017 690.12

Specifications subject to change without notice - please ensure you are using the most recent update found at www.apsystems.com

*Default AC output is 240V mode. Programmable to 208V mode.

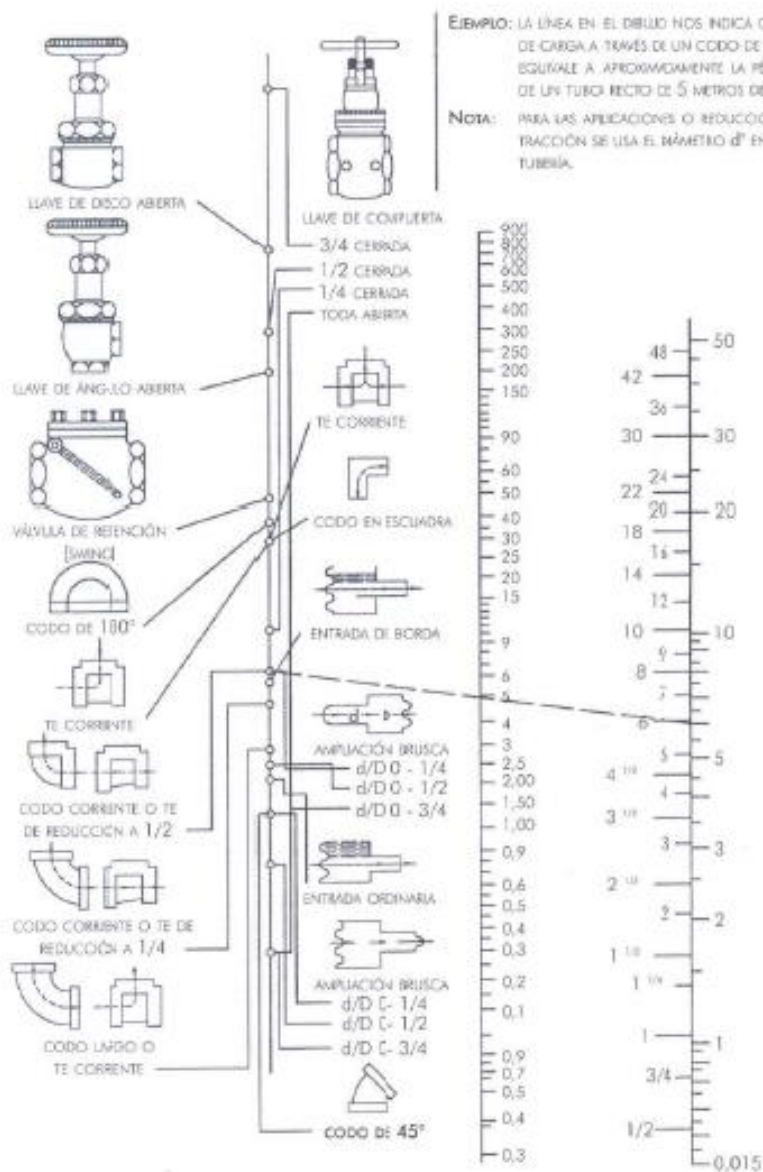
**CEC registered as Altemergy Power System Inc.

***Programmable per customer and utility requirements. All settings UL approved.

3.30.17 © All Rights Reserved

Anexo C. Nomograma de accesorios hidráulicos

PÉRDIDA DE CARGA A TRAVÉS DE LLAVES Y PIEZAS ACCESORIAS



RESISTENCIA DE LAS VÁLVULAS Y PIEZAS ACCESORIAS AL FLUJO DE LÍQUIDOS

NOTA: LAS PÉRDIDAS DE CARGA A TRAVÉS DE LLAVES VARÍAN CON EL TIPO DE FABRICACIÓN.

CONSULTAR LOS CATÁLOGOS DE FABRICACIÓN PARA LA CORRECCIÓN CORRESPONDIENTE.

Anexo D. Cotización de Go Solar



Información Confidencial

RESUMEN

Diego Viales

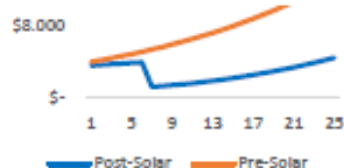
Tamaño del Sistema Propuesto

10,40 kWp

Costo de Mantenimiento (1er año)*

\$300

*Una visita anual

Ahorros Anuales de Energía en el Tiempo

La inflación histórica en el costo de la electricidad en Costa Rica ha sido 13% (BCCR). Sin embargo, suponemos un 8% para calcular los ahorros.

Opción Efectivo

Costo del Sistema

\$13.964**1,34 \$/kWp**

Opción Efectivo incluye descuento

6,50%

Usted recupera su inversión en:

4 Años**4 Meses**

Pago de Estudio de Viabilidad*

\$950

1) Pago después de aprobada Viabilidad

\$9.077 65%

2) Pago después de la instalación del sistema

\$3.491 25%

3) Pago después de la interconexión

\$1.396 10%

*No incluido en costo del Sistema. Considera cargos dados por la Compañía Eléctrica + CFIA.

*Los precios de los medidores los proporciona la Compañía Eléctrica al momento de la aprobación de la inspección del sistema.

No están incluidos en el pago de viabilidad.

Opción Con Financiamiento

Costo del Sistema

\$14.872**1,43 \$/kWp**Prima **\$2.974** 20%Monto Financiado **\$11.898** 80%Tasa de Interés **9,50%**Plazo (meses) **72**

Se incluye una tasa de interés fija durante el plazo

Penalidad por Prepago

\$0

Usted recupera su inversión en:

4 Años**7 Meses**

Pago de Estudio de Viabilidad*

\$950

1) Pago de prima después de aprobada Viabilidad

\$2.974

2) Inicio de pagos mensuales después de interconexión

\$217 Cuota Mensual**\$11** Seguro Mensual**\$229** Pago Mensual Total a GoSolar

Anexo E. Tarifas del Instituto Costarricense de Electricidad

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN**Tarifa T-RE Residencial**

A. Aplicación: Para el suministro de energía y potencia a casas y apartamentos de habitación unifamiliar, que sirven exclusivamente de alojamiento permanente, incluyendo el suministro a áreas comunes de condominios residenciales. No incluye el suministro a áreas comunes de condominios de uso múltiple (residencia-comercial-industrial), áreas de recreo, moteles, hoteles, cabinas o casas de recreo, hospitales, hospicios, servicios combinados (actividades combinadas: residencia, comercial e industrial) edificios de apartamentos servidos por un solo medidor, ni establecimientos relacionados con actividades lucrativas.

B.- Características de servicio:

Suministro de energía y potencia a servicios eléctricos servidos en baja tensión clasificados como B1, B2.o servicios eléctricos servidos a media tensión clasificados como M5, M6, M7, M8, conforme a los especificado en el artículo 26 de la norma técnica regulatoria AR-NT-SUCOM "Supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión".

C.- Precios mensuales:

Primeros 200 kWh a	¢77.14 /kWh
Por cada kilovatio adicional	¢139.02 /kWh

Tarifa T-A. Acceso

A. Aplicación: Tarifa aplicable sobre la inyección y retiro diferido de energía en la red de distribución por parte de de abonados productores de energía eléctrica en la modalidad de generación distribuida para autoconsumo con medición neta sencilla.

B.- Características de servicio:

Conforme a lo especificado en el artículo 26 y el Capítulo IV de la norma técnica regulatoria AR-NT-SUCOM "Supervisión de la comercialización del suministro eléctrico en baja y media tensión".

C. Medición:

Un sistema de medición con registro bidireccional, a media o baja tensión, monofásico o trifásico (tres o cuatro hilos) ubicado en el punto de entrega.

b. Precio mensual:

Por cada kWh retirado..... ¢ 27.86

SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO

A. Aplicación: Esta tarifa se debe aplicar a los consumidores directos del ICE, por el disfrute del servicio de alumbrado público en parques, vías públicas, zonas recreativas y deportivas, etc.

b. Precio mensual:

Por cada kWh de consumo de electricidad..... ¢ 4.05

Esta tarifa tiene un cargo fijo mínimo de 40 kWh y un máximo de aplicación de 50 000kWh por mes.

Tarifas del impuesto general sobre las ventas

Dirección de Servicio al Contribuyente

Actualizado a 2018

Las tarifas vigentes del impuesto general sobre las ventas, son las siguientes:

Concepto	Tarifa
Venta afecta a tarifa general	13%
Venta de energía eléctrica residencial (*)	5%
Venta de madera (**)	10%

(*) El consumo mensual de energía eléctrica residencial hasta 250 Kw/h se encuentra exento. Cuando el consumo exceda los 250 Kw/h, el impuesto del cinco por ciento (5%) se aplicará al total de Kw/h consumidos.

(**) El artículo 42 de la Ley Forestal N° 7575, establece que la madera pagará un impuesto de ventas igual al impuesto general sobre las ventas menos tres puntos porcentuales. Las personas físicas o jurídicas, propietarias de centros de industrialización primaria de maderas, están obligadas a cumplir con el pago de este tributo.

Anexo F. Curvas características de la bomba centrífuga – Rotoplas

Características técnicas

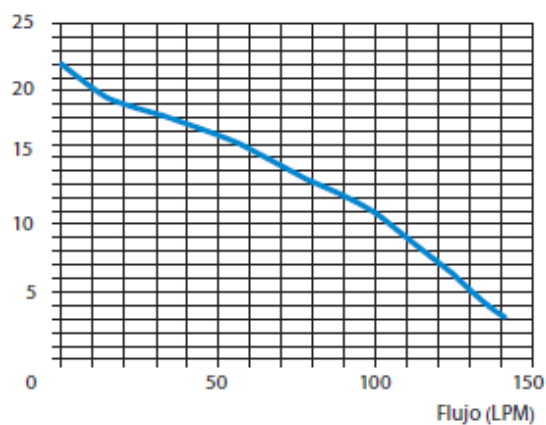
Bomba Centrífuga	CM 050/23 M 1/2 HP
Temperatura máxima del líquido bombeado	50 °C
Máxima / mínima temperatura ambiente	40 °C / 5 °C
Número máximo de puestas en marcha / hora	40 distribuidas
Altura máxima de aspiración (aconsejada)	5 m (con pichancha)
Presión máxima de ejercicio (Válvula cerrada)	2.2 bar (kg / cm ²)
Altura máxima de descarga (Válvula cerrada)	22 m
Tensión	127 Vca
Caudal máximo (Q)	105 LPM
Corriente máxima	5.5 A
Potencia	1/2 HP
Frecuencia	60 Hz
Consumo energético	453.62 Wh
Tipo de motor	Asincrónico
Velocidad de motor	3450 RPM
Aislamiento	Clase F
Grado de protección	IP 44
Conexión de succión	1"
Conexión de descarga	1"

Curvas de desempeño

Centrífuga de 1/2 HP

Carga (m)

— CM 050



Anexo G. Curvas características de la bomba para piscina SuperFlo – Pentair



DISTRIBUIDORA LUXARTPOOLS LTD

Cédula Jurídica: 3102687294
 Dirección: 25m norte de MasxMenos, Oficina a Mano Izquierda, Santa Ana, Santa Ana, San José
 Teléfono: 22037830
 E-mail: info@luxartpools.com
 Sitio Web: www.luxartpools.com

Proforma

Número: 377

Fecha: 01-10-2018
 Vencimiento: 09-10-2018

Cliente: Cliente de contado

Número de identificación:

Dirección:

Teléfono:

E-mail:

Contacto: Cliente General

Teléfono:

E-mail:

Información de Pago

Condición de Venta: Contado

Código de Moneda: CRC

Tipo de Cambio: CRC 585.80

Medio de Pago: Efectivo

No	CANT	UNI / COD / PRODUCTO	PRECIO	DESCUENTO	IMPUESTO	TOTAL DE LÍNEA
1	1.00	Unid / EQ058 / FILTRO SAN DOLLAR SD70 70 GPM 300 LBS PENTAIR	CRC 199071.68142	CRC 0.00	I.Ventas: CRC 25,879.32 (13.00%)	CRC 224,951.00
2	1.00	Unid / EQ020 / BOMBA SUPÉR FLO PENTAIR 1HP 65 GPM A 40FT 110-230V	CRC 269017.67257	CRC 0.00	I.Ventas: CRC 34,972.30 (13.00%)	CRC 303,989.97
3	6.00	Unid / Q013 / ARENA DE VIDRIO 50 LB	CRC 8849.55752	CRC 0.00	I.Ventas: CRC 6,902.65 (13.00%)	CRC 59,999.99999
4	1.00	Unid / EQ004 / CLORINADOR RAYBOW PENTAIR R320 / 70 GPM	CRC 54280.51327	CRC 0.00	I.Ventas: CRC 7,056.47 (13.00%)	CRC 61,336.96
5	1.00	Unid / AB027 / VALVULAS 3 VIAS 1-1/2" PHRAER	CRC 30032.17699	CRC 0.00	I.Ventas: CRC 3,904.18 (13.00%)	CRC 33,936.36

Comentario:

Equipo Filtración y Bombeo Piscina 103mts Cúbicos.

De entrega Inmediata.

CUENTAS BANCO BAC

COLONES: 931371991

SINPE COLONES: 10200009313719912

DOLARES: 932396203

SINPE DOLARES: 10200009323962039

BANCO NACIONAL

COLONES: 100-01-119-000360-3

SINPE COLONES 15111910010003604

DOLARES: 100-02-119-000310-2

SINPE DOLARES: 15111910020003108

Mercancías gravadas: CRC 605,499.39

Subtotal: CRC 605,499.39

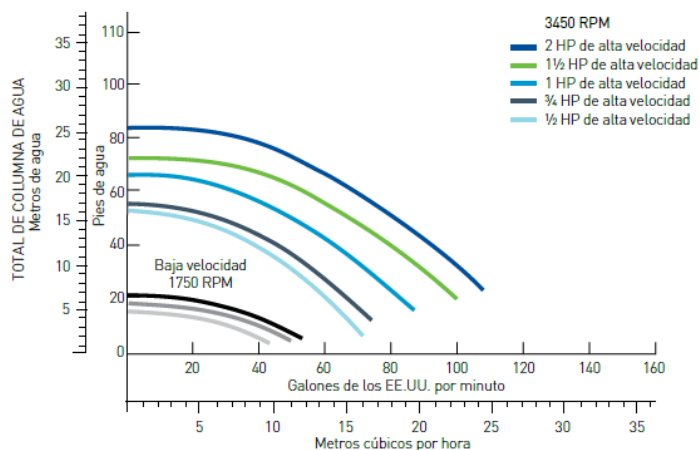
Descuento: - CRC 0.00

Impuestos: + CRC 78,714.92

Total: CRC 684,214.31

El monto total es equivalente a USD 1,168.00

CURVAS DE RENDIMIENTO



Anexo H. Curvas características de la bomba para fuente SuperFlo – Pentair



DISTRIBUIDORA LUXARTPOOLS LTD

Cédula Jurídica: 3102687294
 Dirección: 25m norte de MasxMenos, Oficina a Mano Izquierda, Santa Ana, Santa Ana, San José
 Teléfono: 22037830
 E-mail: info@luxartpools.com
 Sitio Web: www.luxartpools.com

Proforma

Número: 378

Fecha: 01-10-2018
 Vencimiento: 09-10-2018

Cliente: Cliente de contado

Número de identificación:

Dirección:

Teléfono:

E-mail:

Contacto: Cliente General

Teléfono:

E-mail:

Información de Pago

Condición de Venta: Contado

Código de Moneda: CRC

Tipo de Cambio: CRC 585.80

Medio de Pago: Efectivo

No	CANT	UNI / COD / PRODUCTO	PRECIO	DESCUENTO	IMPUESTO	TOTAL DE LÍNEA
1	1.00	Unid / EQ055 / FILTRO SAND DOLLAR SD35 35 GPM 100 LBS PENTAIR	CRC 129829.20354	CRC 0.00	I.Ventas: CRC 16,877.80 (13.00%)	CRC 146,707.00
2	1.00	Unid / EQ002 / BOMBA SUPERFLO PENTAIR 3/4 HP_50GPM/40FT 110/220V	CRC 248030.47788	CRC 0.00	I.Ventas: CRC 32,243.96 (13.00%)	CRC 280,274.44
3	2.00	Unid / Q013 / ARENA DE VIDRIO 50 LB	CRC 8849.55752	CRC 0.00	I.Ventas: CRC 2,300.88 (13.00%)	CRC 20,000.00
4	1.00	Unid / EQ004 / CLORINADOR RAYMBOW PENTAIR R320 / 70 GPM	CRC 54280.51327	CRC 0.00	I.Ventas: CRC 7,056.47 (13.00%)	CRC 61,336.98
5	1.00	Unid / AB027 / VALVULAS 3 VIAS 1-1/2" PHRAER	CRC 30032.17699	CRC 0.00	I.Ventas: CRC 3,904.18 (13.00%)	CRC 33,936.36

Comentario:

Equipo de filtración y bombeo Fuente 21mts Cúbicos.

De entrega Inmediata.

CUENTAS BANCO BAC

COLONES: 931371991

SINPE COLONES: 10200009313719912

DOLARES: 932396203

SINPE DOLARES: 10200009323962039

BANCO NACIONAL

COLONES: 100-01-119-000360-3

SINPE COLONES 15111910010003604

DOLARES: 100-02-119-000310-2

SINPE DOLARES: 15111910020003108

Mercancías gravadas:

CRC 479,871.49

Subtotal:

CRC 479,871.49

Descuento:

- CRC 0.00

Impuestos:

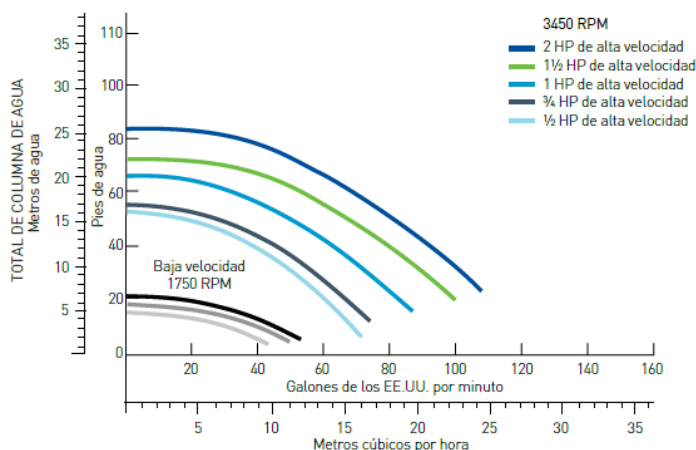
+ CRC 62,383.29

Total:

CRC 542,254.78

El monto total es equivalente a USD 925.67

CURVAS DE RENDIMIENTO



Anexo I. Ficha técnica de lámparas

ABULBOS Y TUBOS LED
LED LAMPS & LED TUBES**SYLVANIA****LED PL COB**
LED PL COB

Código Code	Modelo Model	Potencia (W) Wattage	Flujo lum. (lm) Luminous Flux	Temp. Color (K) Color Temp.	Tensión (V) Voltage	Horas (h) Lifespan
P24435-36	LED PL COB DIM E27 7W 4.5K	7	600	4500	120V~	85.000
P24436-36	LED PL COB E27 7W 4.5K	12	1000	6500	120V-277V~	85.000
P24452-36	LED PL COB E27 7W 4.5K	12	1000	2700	120V-277V~	85.000

LED GLOBO
Globe LED

P26135-36	LED GLOBO E27 6.5W 470LM 2.7K	6.5	470	2700	120V~	40.000
P26136-36	LED GLOBO E27 6.5W 620LM 6.5K	6.5	620	6500	120V~	40.000

BULBO P/COLGANTE
Pendant Bulbs

P24970-36	BULBO P/PENDANT LED 18W 3.0K	18	1440	3000	120V-277V~	80.000
P24971-36	BULBO P/PENDANT LED 30W 3.0K	30	2400	3000	120V-277V~	80.000

BLUMINARIAS LED
LED FIXTURES**SYLVANIA****SYL-LIGHTER**

IRC / CRI: 80%



Código Code	Modelo Model	Potencia (W) Wattage	Flujo lum. (lm) Luminous Flux	Temp. Color (K) Color Temp.	Tensión (V) Voltage	Horas (h) Lifespan
P3031805-2	SYL-LIGHTER LED Ø220 21W 4.1K	21	1800	4100	120V-277V~	80.000
P25941-38	SYL-LIGHTER LED Ø220 21W 4.1K	21	1800	4100	120V-240V~	80.000
P25940-38	SYL-LIGHTER LED Ø220 21W 8.0K	21	1800	8000	120V-240V~	80.000
P04302-38	SYL-LIGHTER LED Ø220 21W 4.1K O/BE	21	1800	4100	120V-240V~	80.000
P3031803-2	SYL-LIGHTER LED Ø220 15W 4.1K	15	1200	4100	120V-277V~	80.000
P25943-38	SYL-LIGHTER LED Ø195 15W 4.1K	15	1200	4100	120V-240V~	80.000
P25942-38	SYL-LIGHTER LED Ø195 15W 8.0K	15	1150	8000	120V-240V~	80.000
P04209-38	SYL-LIGHTER LED Ø195 15W 4.1K O/BE	15	1200	4100	120V-240V~	80.000

BLUMINARIAS LED
LED FIXTURES**SYLVANIA****SPOT GIRO**

IRC / CRI: 80%



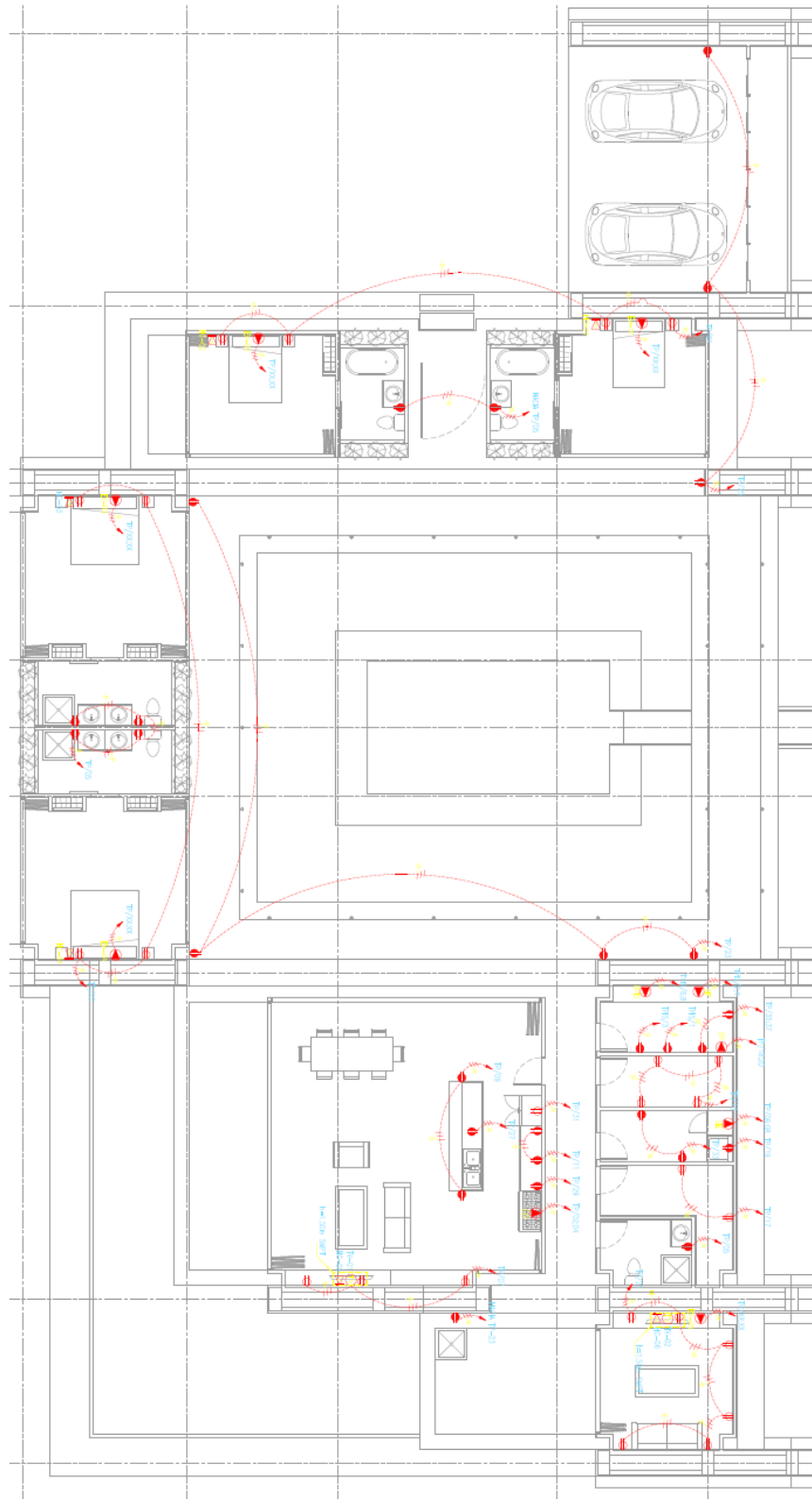
Código Code	Modelo Model	Potencia (W) Wattage	Flujo lum. (lm) Luminous Flux	Temp. Color (K) Color Temp.	Tensión (V) Voltage	Horas (h) Lifespan
P26198-36	DOWN LIGHT SPOT GIRO 6.5W 8.5K	6.5	580	6500	120V-240V~	80.000
P26199-36	DOWN LIGHT SPOT GIRO 6.5W 8.0K	6.5	580	8000	120V-240V~	80.000

Anexo J. Ficha técnica aires acondicionados Carrier

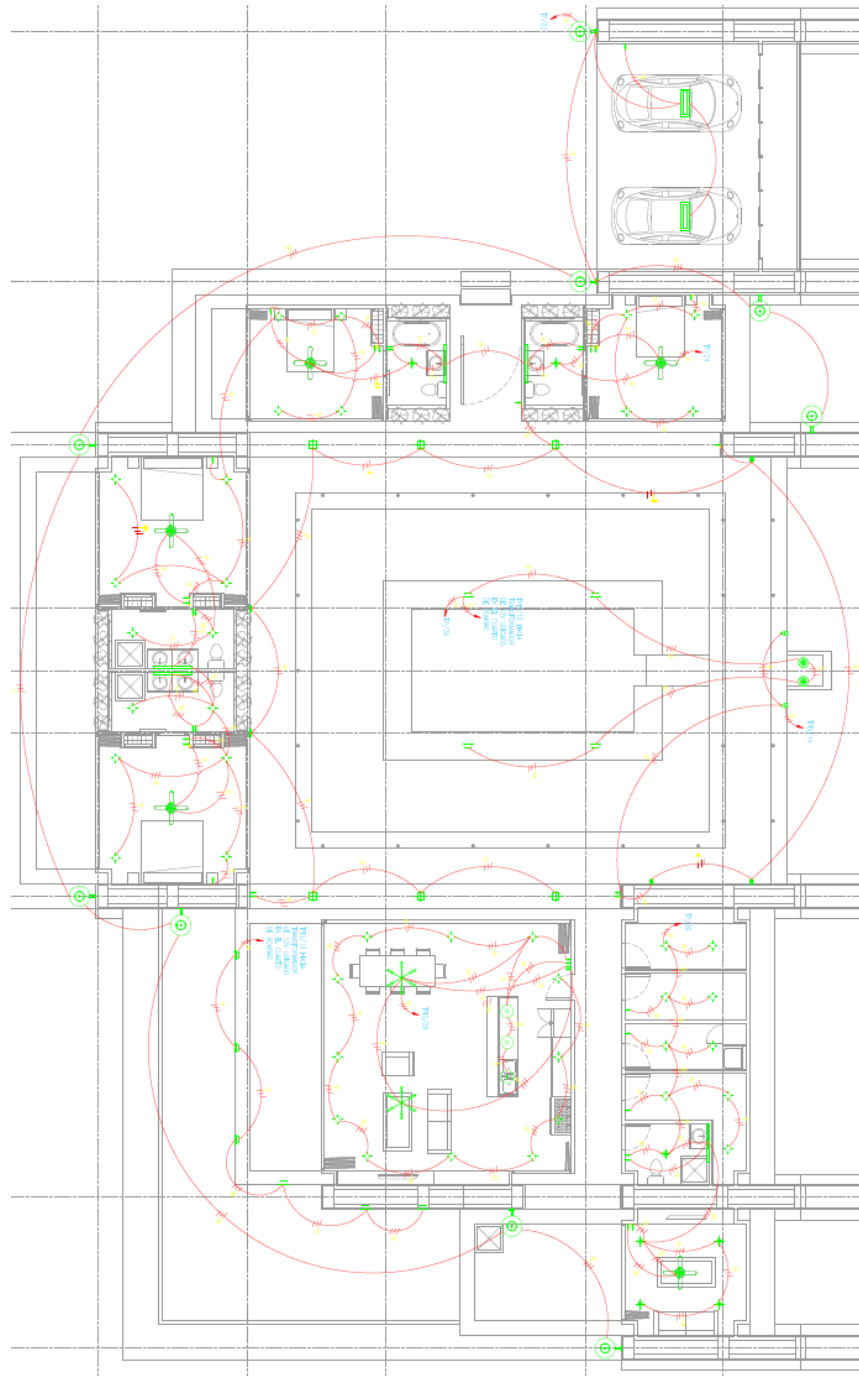
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS						
Modelo Unidad interior			42QHC009ESW	42QHC012ESW	42QHC018DSW	42QHC024DSW
Modelo Unidad exterior			38QHC009ESWP	38QHC012ESWP	38QHC018DSWP	38QHC024DSWP
Fuente de Energía		V-Hz-Ph	208-230V- 60Hz, 1Ph	208-230V- 60Hz, 1Ph	208-230V- 60Hz, 1Ph	208-230V- 60Hz, 1Ph
Rendimiento (Enfriamiento)	Capacidad	Btu/h	9000 (1500-10000)	12000 (1700-13000)	18000 (2800-19900)	24000 (5000-24000)
	Consumo	W	620	1090	1550	2090
	Corriente	A	2.8 (1.3 ~ 6.5)	4.8 (1.3 ~ 7.3)	7.0 (2.0 ~ 9.7)	9.4 (2.5 ~ 11.5)
	EER	W/W	4.25	3.25	3.40	3.24
	SEER	Btu/w	26	21	21	21
Rendimiento (Calefacción)	Capacidad	Btu/h	11000 (2000-14000)	13000 (2000-15000)	19000(3400-20600)	24000(5500-26000)
	Consumo	W	720	1110	1720	2120
	Corriente	A	3.2 (1.3 ~ 6.5)	4.9 (1.3 ~ 7.3)	7.6 (2.0 ~ 9.7)	9.7(2.5 ~ 11.5)
	CCP	W/W	4.50	3.45	3.25	3.30
Unidad Interior	Dimensiones (ancho-profundo-alto)	mm	812x192x300	812x192x300	973x219x319	1082x225x338
	Empaque (ancho-profundo-alto)	mm	890x275x395	890x275x395	1055x405x305	1165x420x315
	Peso neto/bruto	kg	9.0 / 12.0	9.0 / 12.0	11.5 / 16.5	13.5 / 18.5
Unidad exterior	Dimensiones (ancho-profundo-alto)	mm	800x333x554	800x333x554	800x333x554	845x363x702
	Empaque (ancho-profundo-alto)	mm	940x420x615	940x420x615	940x420x615	985x435x760
	Peso neto/bruto	kg	28.5 / 32.5	28.5 / 32.5	38.0 / 42.5	44.0 / 49.5
Nivel de sonido unidad Interior		dB(A)	38/34/30/21	40/35/31/22	42/37/35/24	47/42/38/26
Nivel de sonido unidad exterior		dB(A)	55	55	55	58
Tipo de refrigerante/ cantidad	Tipo		R410A	R410A	R410A	R410A
	Volumen de carga	kg	0.75	0.75	1.65	2.00
Tubería de refrigerante	Líquido/ Gas	mm	ø6.35/ø9.52(1/4"/3/8")	ø6.35/ø9.52 (1/4"/3/8")	ø6.35/ø12.7 (1/4"/1/2")	ø9.52/ø15.9 (3/8"/5/8")
	largo máximo de tubería	m	25	25	30	40
	Separación máxima de tubería	m	10	10	20	20

Nota: El peso total y las dimensiones de empaque de la Unidad Externa incluyen kits the tuberías de 3M.

Anexo K. Diagrama de toma corrientes



Anexo L. Diagrama de iluminarias



Anexo M. BN Soluciones: financiamiento para créditos personales

DIRECCION BANCA DE CONSUMO
SUBGERENCIA GENERAL DE DESARROLLO



BN Soluciones: Financiamiento para Créditos Personales

BN Soluciones Eco tecnología es una solución financiera con tasa preferencial para invertir en tecnologías limpias (paneles y calentadores solares, aerogeneradores, ahorradores de agua, gas y energía, aislantes térmicos, etc), las cuales tienen como objetivo disminuir el consumo de energías eléctricas originadas de forma tradicional.



- **Garantías, Montos y Plazos****

De acuerdo a la garantía que el cliente ofrezca,

- ≈ **Garantía back to back o hipoteca sobre la vivienda del deudor**

Desde ₡300 mil Hasta ₡100 millones de colones

Plazo: Colones: Hasta 20 años

- ≈ **Otros tipos de hipotecas**

Desde ₡300 mil Hasta ₡65 millones de colones

Plazo: Colones: Hasta 20 años

- ≈ **Fianza**

Desde ₡300 mil Hasta ₡15 millones de colones

Plazo: Colones: Hasta 8 años

** En cualquiera de los casos el cliente deberá tener capacidad de pago, aprobar los estudios crediticios internos y la garantía estar a satisfacción del BNCR)

Requisitos:

Documento de identificación (original y copia).

Constancia salarial y/o Certificación de Ingresos (trabajador independiente).

Orden patronal (asalariados) (original y copia).

Recibo de servicio público donde se puede confirmar la dirección (original y copia).

Para garantías hipotecarias: Informe registral, plano catastro (original y copia)

Factura Proforma

- **Tasa de interés Preferencial para ecologías limpias :** (a hoy)

PRODUCTOS	TASAS COLONES
BN Soluciones Ecotecnología	Tbbccr+10.05 % =15.5%