

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA DE POSGRADO

SECCIÓN DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE

INGENIERIA



TITULO DEL TRABAJO

“PROPUESTA DE ILUMINACIÓN DE PLAZA DE ARMAS DE

CHIMBOTE CON SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

2018”

Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Mecánica Eléctrica con
mención en Redes de Distribución Eléctrica.

Autor:

Carranza Aguilar, Teobaldo Efrén

Asesor:

Ramos Moscol, Mario Fernando
CODIGO ORCID: 0000-0003-3812-7384

Chimbote – Perú

2021

ÍNDICE

ÍNDICE	ii
PALABRAS CLAVE	iii
KEYWORD	iii
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN-OCDE	iii
TÍTULO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	1
METODOLOGÍA	18
RESULTADOS	20
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	25
CONCLUSIONES	27
RECOMENDACIONES	28
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
ANEXOS	35

**PALABRAS
CLAVE**

Iluminación,
fotovoltaico

KEYWORD

Illumination,
photovoltaic.

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN-
OCDE**

Línea	Sector energía
Área	Ingeniería, Tecnología
Subárea	Ingeniería eléctrica, electrónica e informática
Disciplina	Ingeniería eléctrica y electrónica

TÍTULO

Propuesta de iluminación de plaza de armas de Chimbote con sistema
fotovoltaico autónomo 2018

RESUMEN

El propósito de la investigación es realizar la propuesta de iluminación de plaza de armas de Chimbote con sistema fotovoltaico autónomo 2018. La metodología utilizada se basó en un estudio del tipo descriptivo, de diseño no experimental y transeccional descriptivo. La técnica utilizada es la recopilación y análisis de datos secundarios, los instrumentos son: Perfil de carga de iluminación; número de baterías según tecnología y número de días de autonomía, Análisis de inversión por tipo de tecnología , horas equivalentes de sol o horas sol pico HSP. Se determinó un consumo de 141.120 kWh/día de iluminación, las horas sol pico (HSP) son de 3.79h, se dimensiono el sistema fotovoltaico en función de la demanda de iluminación, obteniendo 110 módulos de 400Wp, 73 baterías de GEL con autonomía de 0.5 día; el inversor- cargador-regulador MPPT (3 en 1) es de 12kW, el arreglo fotovoltaico es de 10 paneles, el número de arreglos es de 11. El VAN del proyecto con baterías gel es de S/. 909 896.05, TIR de 10.11%, payback de 11 años, con 73.51 ctmSol/kWh (21.75 ctm\$/kWh) y CO2 que se dejaría de emitir el proyecto es de 29 tCO2e/año.

ABSTRACT

The purpose of the research is to carry out the lighting proposal for the Chimbote main square with the 2018 autonomous photovoltaic system. The methodology used was based on a descriptive study, with a non-experimental and descriptive transectional design. The technique used is the collection and analysis of secondary data, the instruments are: Lighting load profile; number of batteries according to technology and number of days of autonomy, investment analysis by type of technology, equivalent hours of sun or hours of peak sun HSP. A lighting consumption of 141,120 kWh / day was determined, the peak sun hours (HSP) are 3.79h, the photovoltaic system was dimensioned according to the lighting demand, obtaining 110 modules of

400Wp, 73 GEL batteries with autonomy of 0.5 in diameter; the MPPT inverter-charger-regulator (3 in 1) is 12kW, the photovoltaic arrangement is 10 panels, the number of arrangements is 11. The NPV of the project with gel batteries is S /. 909

896.05, IRR of 10.11%, 11-year payback, with 73.51 ctmSol / kWh (21.75 ctm \$ /

kWh) and CO₂ that the project would stop emitting is 29 tCO₂e / year.

INTRODUCCIÓN

Para el realizar el trabajo de investigación se revisaron antecedentes contemporáneos como los artículos científicos publicados por el instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (Institute of Electrical and Electronics Engineers -IEEE): como el de Barad, Tungar, Sangle, Ketan, charge & with LED (2017) sobre “Solar panel based multi-mobile illumination” quienes proponen la aplicación de sistemas fotovoltaicos en iluminación porque es una energía renovable que no contamina el medio ambiente, que concuerda con Lia, Jiann-Fuh, Wu, & Huang (2017) en su estudio LED driving circuit with stand-alone photovoltaic power, que propone un sistema fotovoltaicos autónomos para iluminación, el estudio similar presentado por Maheshkumar, Shubhangi, Manohar, Bhaskar, & Bhosale (2017) sobre Design and implementation of smart solar LED street light, realizaron el diseño de iluminación pública con un sistema fotovoltaico para ahorrar costos de energía. Como el estudio “Design a Modified Bi-Directional Converter for Solar LED Lighting System” elaborado por Wang, Chen, Tang, Yang, Wen, & Lin, (2018); que concluyen que los sistemas fotovoltaicos son energías verdes que no contaminan el medio ambiente, como lo señalan los investigadores Vijay, Shah, Bhuvaneswari, & Singh (2015) en su investigación sobre “LED based street lighting with automatic intensity control using solar PV”, indican que debido al cambio climático, se deben implementar energías renovables que no degraden el medio ambiente, por lo que en su estudio realizaron iluminación pública con un sistema fotovoltaico autónomo con baterías de litio. En la investigación de Dengsheng, y otros (2016), sobre solar PV power design of off-grid display system”, exponen los componentes del sistema fotovoltaico autónomo para iluminación: arreglo fotovoltaico, controlador de carga, banco de baterías e inversor. En el artículo “Design and control of power

converter for LED lighting driven from the PV module” expueste
Omsekhar, & Nayak (2017) exponen la iluminación con sistemas fotovoltaicos
para ahorrar energía. En el estudio “Energy positive solar LED streetlight systems” Singh,
Marathey, & Mukhopadhyay (2017), mencionan que el alumbrado público
representa entre el 10% al 38% de la facturación eléctrica en una ciudad típica del
mundo, por lo

por Ranjini,

que los sistemas fotovoltaicos evitarían emitir dióxido de carbono como lo realizan las centrales de energía convencional a gas natural. En la investigación de Macias & Ulianov (2014) sobre "Low cost off-grid Solar PV an proposed un sistema fotovoltaico no conectado a la red para un sistema de iluminación, almacenando la energía en baterías. En la investigación de Kansara (2017) sobre "Solar & LED technology for energy efficient substations", concluye que la iluminación con sistemas fotovoltaicos, reducen la tarifa eléctrica y contribuye con el medio ambiente. Shubham, Kshitij, & Prajaktā (2017), en su estudio "Smart street - lighting using green energy designing a novel stand-alone solar powered lighting system"; Martyanov, Korobatov, & Solomin (2017) en su artículo "Simulation model of public street lighting provided by a photovoltaic converter and battery storage"; & Zainal (2019) estudio sobre "A Proposed Standard Design of Solar Street Light System Towards Energy Efficiency Development for Managing Facility Planning"; los investigadores Mardikaningsih, Sutopo, Zakaria, Nizam, Kadir (2016) en "Evaluation and designing street lighting with solar cell: A case study"; diseñaron y/o evaluaron un sistema fotovoltaico para el alumbrado público en la India, Rusia, Inglaterra y Indonesia, respectivamente. En la presentación del estudio de Hardeep, Daljeet, & P. S., (2017) de "Optimal design of photovoltaic power system for a residential load" para un arreglo fotovoltaico de 6 kW determinaron un VAN de \$ 76 307. Los conferencistas Giriantari, Kumara, & Santiari (2014) presentaron su caso de estudio suplir el 30% de la energía eléctrica en el Hotel Nusa Lembongan con 144 paneles y 21 694.8 Wp (150Wp por modulo). Los investigadores Abdul, Andrew, Al- Khalid, Saleem, & Shakeel (2012) en su estudio de sistema fotovoltaico aislado señalan que el 52% de la inversión inicial corresponde a las baterías. En la presentación del proyecto de sistema solar fotovoltaico y térmico de Pino, Pino, & José, (2019) mostraron un payback de 8.1 años en su evaluación

economía de su sistema. En el estudio de Ogunnubi & Overbye (2015) de evaluación de potencial de la energía solar en Nigeria obtuvieron el costo nivelado de la electricidad para una central de \$0.2109 kWh⁻¹. En la publicación de Phuong, Van, & Phuong (2018) de evaluación técnica económica de una planta solar en Vietnam obtuvieron un costo nivelado de la eléctrica de 21 centavos de USD por kWh y payback de 12 años. En la investigación de Ahmad

& Osama (2017) de una planta solar fotovoltaica conectada a la red en Jordania obtuvieron un TIR de 9.9% y 9 años de payback. Los conferencista Syafii, Novizon, Wati, & Dona (2018) mostraron su estudio de un sistema fotovoltaico conectado a la red con periodo de recuperación de la inversión de 11 años. En la investigación de Khairlybayeva, Samayeva, Temirbekova, & Rojas-Solórzano (2016) de un sistema fotovoltaico conectado a la red en Malasia, obtuvieron un TIR del 21% y un payback de 5.8 años.

“Un panel solar funciona recogiendo la energía del sol. Esta energía viene en forma de fotones. El fotón es capturado por la célula solar que al hacerlo mueve electrón en la célula generando así una corriente eléctrica” (Green Empowerment-ITDG, 2005; p.14).

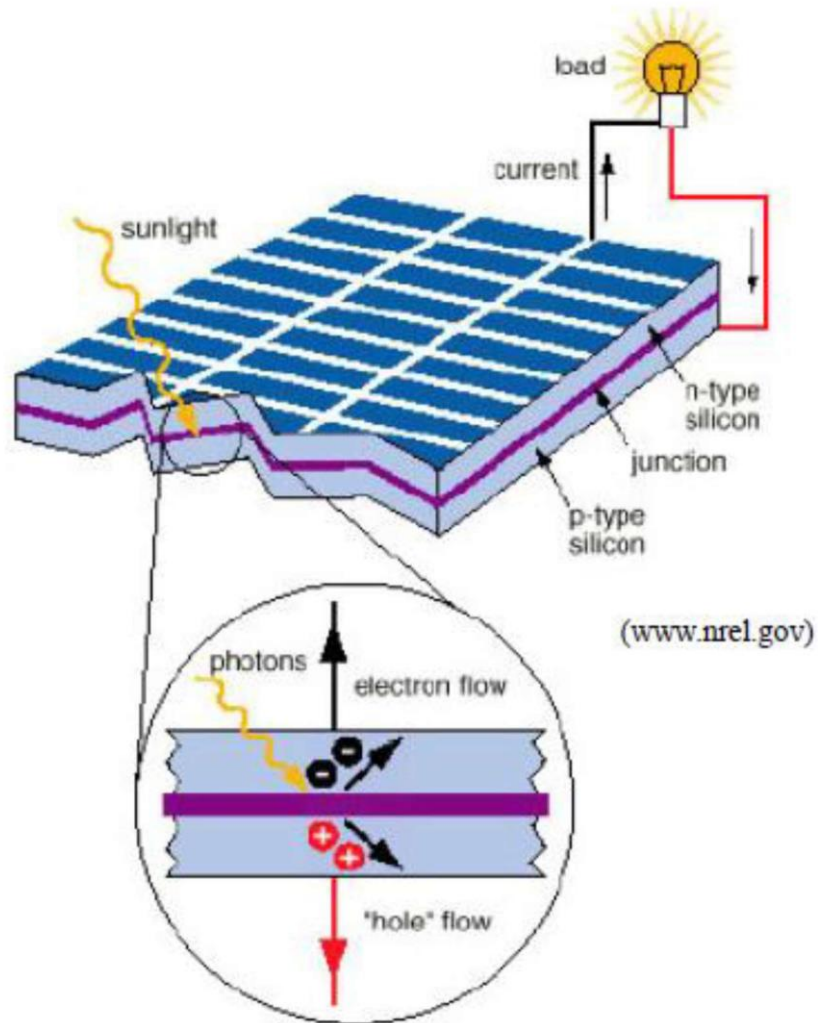


Figura 1. Efecto fotoeléctrico en panel fotovoltaico.

Fuente: Green Empowerment-ITDG, 2005

La Guía N° 01 Elaboración de Proyectos de Guías de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético elaborado por el Ministerio de Energía y Minas (2008) muestra el cálculo de la energía eléctrica mediante la determinación de la potencia de lampara kW, horas de funcionamiento al día (h), determinando la energía eléctrica en kWh.

El dimensionamiento de las baterías esta en función de la capacidad de descarga de la batería o llamado DOD (depth of discharge) para las tecnología de plomo-ácido con

válvula reguladora (VRLA) o batería gel se utiliza un DOD del 30% para obtener 2400 ciclos o 7 años de vida útil y para las baterías de litio un DOD de 90% con 6000 ciclos o 15 años (Autosolar, 2021).

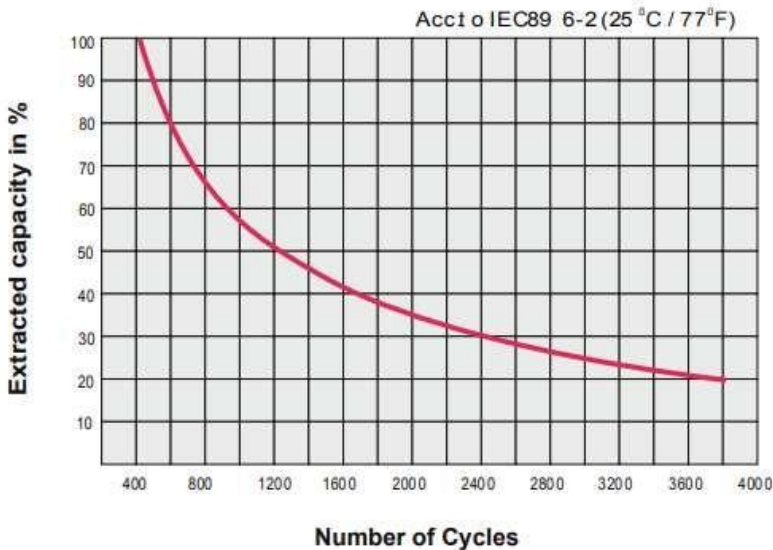


Figura 2. Ciclo de vida de baterías
Gel
Fuente: Autosolar,
2021



Basic Parameters	US2000	Phantom-S	US3000
Nominal Voltage (V)	48	48	48
Nominal Capacity (Wh)	2400	2400	3552
Usable Capacity (Wh)	2200	2200	3200
Dimension (mm)	442*410*89	440*440*88.5	442*420*132
Weight (Kg)	24	24	32
Discharge Voltage (V)	45 ~ 53.5	45 ~ 53.5	45~53.5
Charge Voltage (V)	52.5 ~ 53.5	52.5~53.5	52.5~53.5
Charge / Discharge Current (A)	25(Recommend)	25(Recommend)	37 (Recommend)
	50 (Max)	50 (Max)	74 (Max)
	100 (Peak@15s)	100 (Peak@15s)	100 (Peak@15s)
Communication Port	RS485, CAN	RS485, CAN	RS485, CAN
Single string quantity(pcs)	8	8	8
Working Temperature/°C	0~50	0~50	0~50
Shell Temperature/°C	-20~60	-20~60	-20~60
Humidity	5%~85%	5%~85%	5%~85%
Altitude (m)	<2000	<2000	<2000
Design life	15 ⁺ Years (25°C/77°F)	15 ⁺ Years (25°C/77°F)	15 ⁺ Years (25°C/77°F)
Cycle Life	>6000, 25°C	>6000, 25°C	>6000, 25°C
Authentication Level	UL/IEC62619/CE /UN38.3	IEC62619/CE /UN38.3	IEC62619/CE /UN38.3

Figura 3. Parámetros de la baterías litio
Fuente: Autosolar, 2021

Patiño, Tello, & Hernández (2013) indican que “ En primera instancia se determina el perfil de carga para establecer la cantidad de horas de uso de cada equipo (p.9) , a realizar el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico.

Leaf Energy (2020), señala que el inversor se selecciona para una potencia mayor a la suma de todas las carga que funcionen en simultaneo.

El ángulo de inclinación en los paneles fotovoltaico debe ser igual a la latitud de la ubicación, como lo demuestran varias investigaciones (Díaz, Castro, Santos & Vilaragut, 2018).

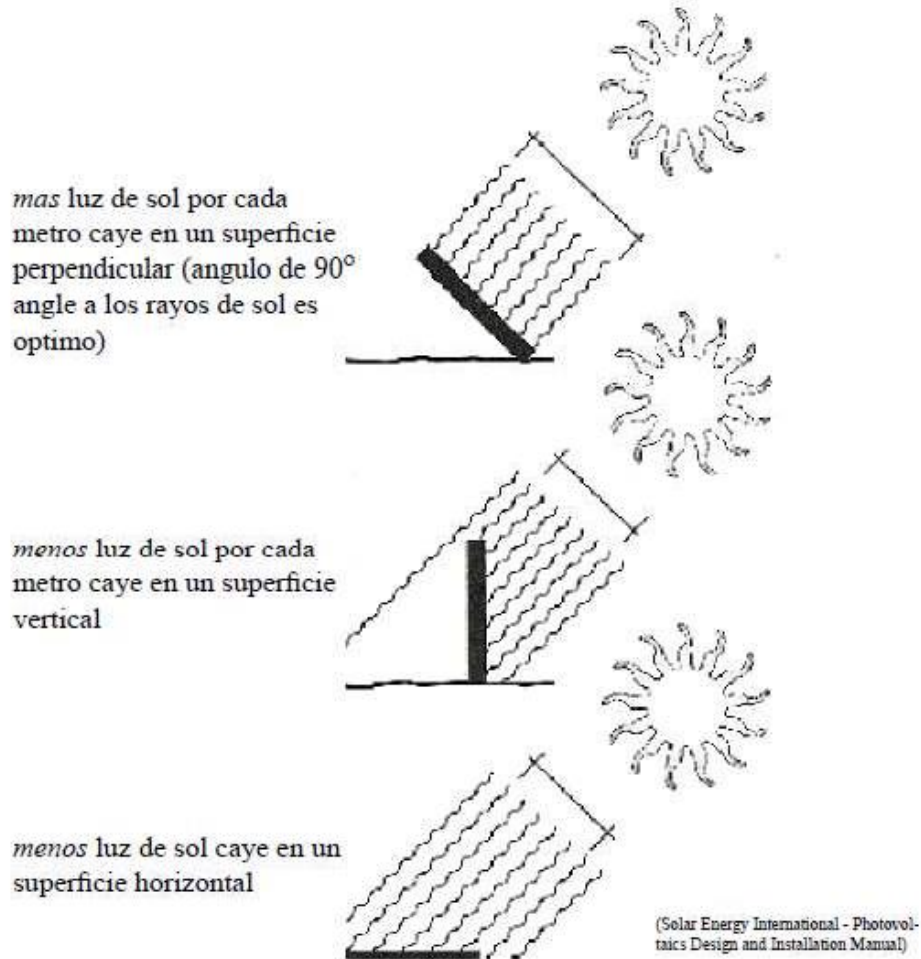


Figura 4. Diversas orientaciones del panel fotovoltaico.

Fuente: Green Empowerment-ITDG, 2005

Gimeno y otros (2014), Al dimensionar el sistema fotovoltaico se tiene en cuenta

la temperatura en el panel fotovoltaico T_{cell}
 $= I_{SC} + \alpha_{A/C}(T_{cell} - 25) \dots V_{OC_Tcell} = V_{OC} + \beta_{V/C}(T_{cell} - 25)$, en $A/^{\circ}C$; β en

$P_{MPP_Tcell} = P_{MPP} + g_{W/C}(T_{cell} - 25)$; donde

$V/^{\circ}C$ y g en $W/^{\circ}C$ son coeficientes de temperatura del módulo, $T_{cell} = T_{amb} + (TONC - 20) \cdot E / 80$, T_{amb} es temperatura del ambiente; TONC es temperatura operación normal de la célula.

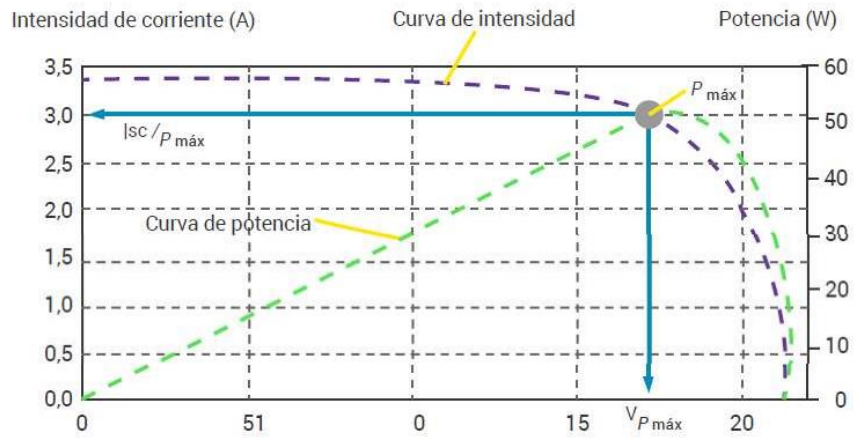


Figura 5. Relación corriente generada / tensión célula fotoeléctrica.

Fuente: Tecnológico de Monterrey, 2018

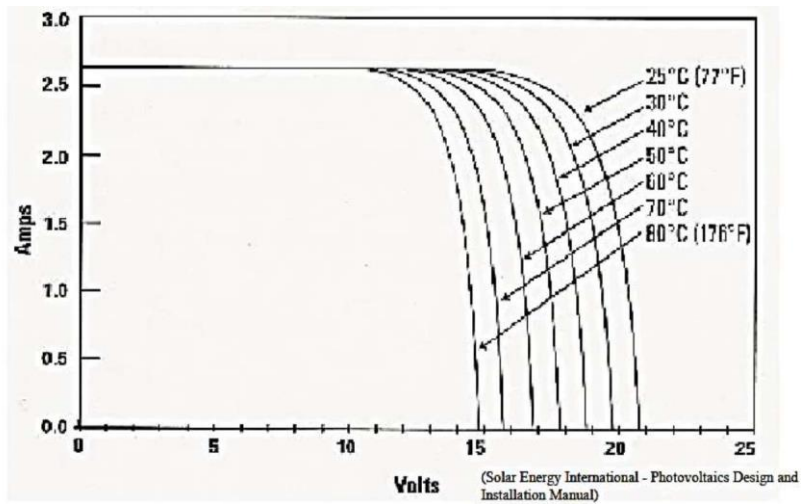


Figura 6. Curva I-V con variación de temperatura.

Fuente: Green Empowerment-ITDG, 2005

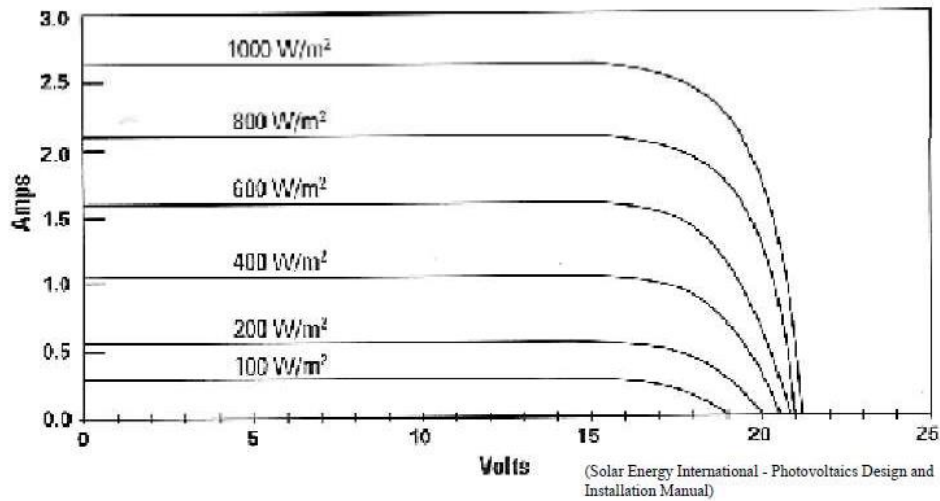


Figura 7. Curva I-V con variación de irradiancia.

Fuente: Green Empowerment-ITDG, 2005

El Fondo Nacional del Ambiente- Perú (2004) determina la razón de CO₂ que se evitar emitir a la atmosfera y la energía producida por una fuente que no contamina el medio ambiente (0.57 tCO₂e/MWh), por lo que por cada MWh producido por una central térmica equivale a evitar emitir 0.57 tCO₂.

Los sistemas fotovoltaicos se dividen en sistemas autónomos o independientes y los sistemas fotovoltaicos conectados a la red

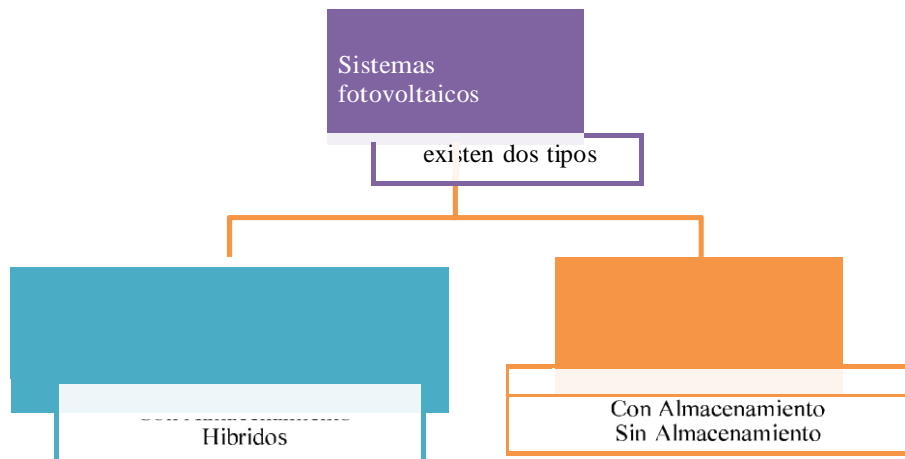


Figura 8. Tipos de sistemas
fotovoltaicos.

Fuente: PV3x,
2019

PV3x (2019) señala que los sistemas autónomos pueden incluir almacenamiento de energía, como baterías y en un sistema híbrido, la energía fotovoltaica se acopla a la energía eólica o a un generador diésel.

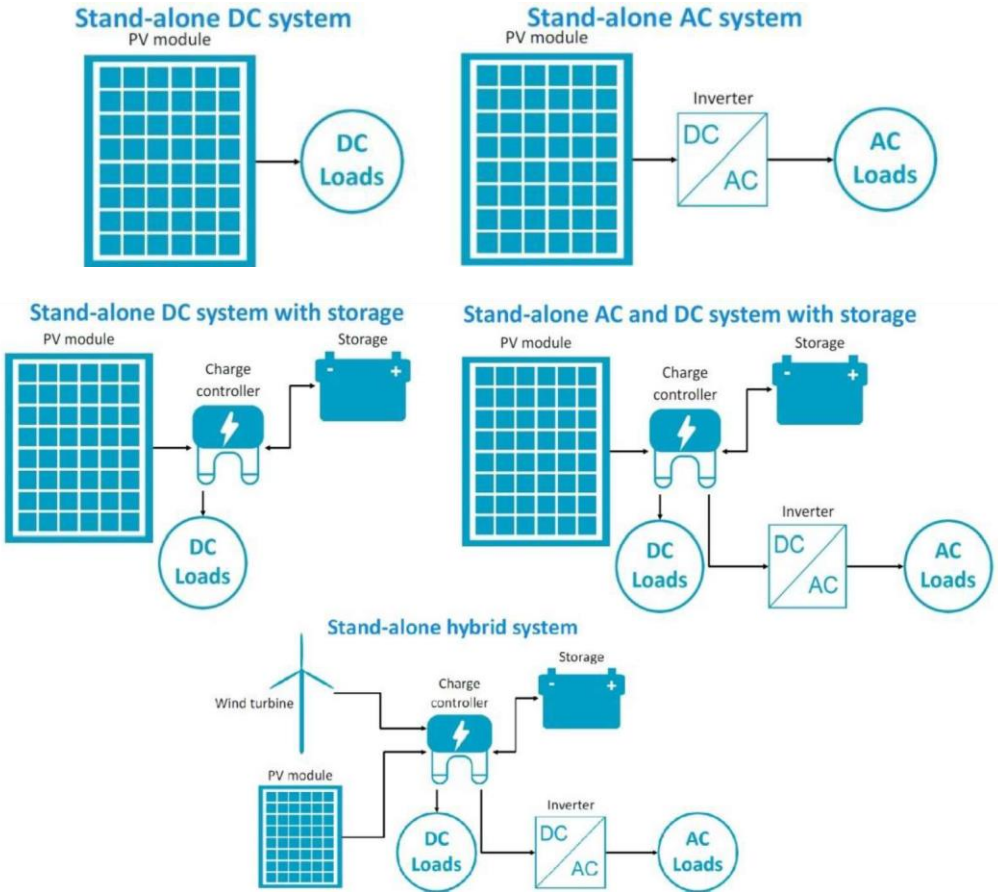


Figura 9. Sistemas fotovoltaicos aislado o autónomos.

Fuente: PV3x,
2019

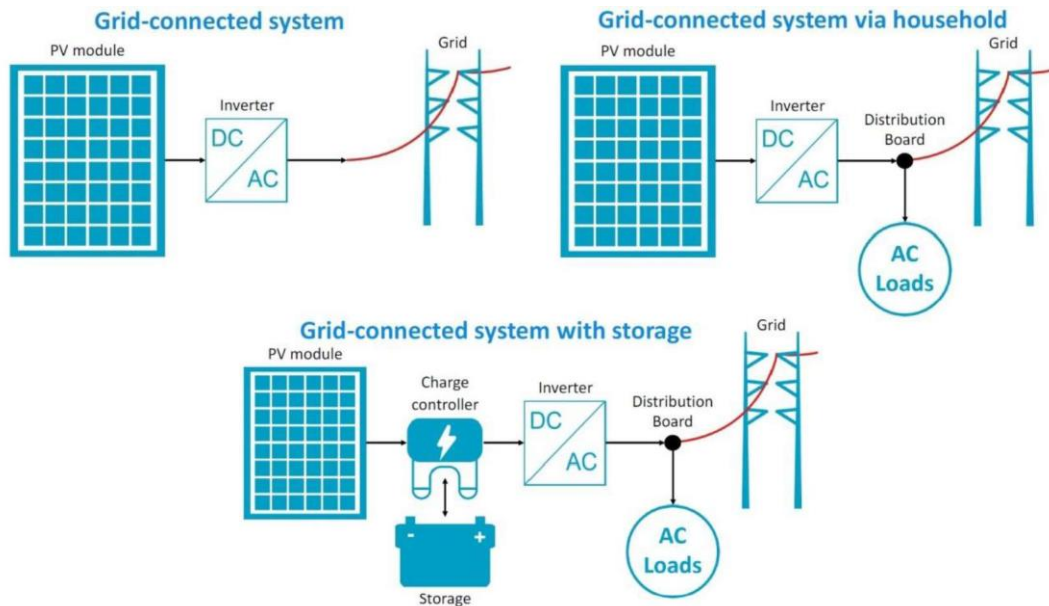


Figura 10. Sistemas fotovoltaico conectados a la red.

Fuente: PV3x,
2019

PV3x (2019) menciona que las baterías se pueden dividir en primarias y secundarias. Las baterías primarias como el zinc-carbono o baterías alcalinas son descartables luego de consumir la carga. Las baterías secundarias o "recargables" son usadas en sistemas fotovoltaicos, existen diversas tecnologías como se muestra en el siguiente gráfico donde el eje x, es la densidad de energía gravimétrica, o Wh/kg y eje y densidad de energía volumétrica o Wh/litro.

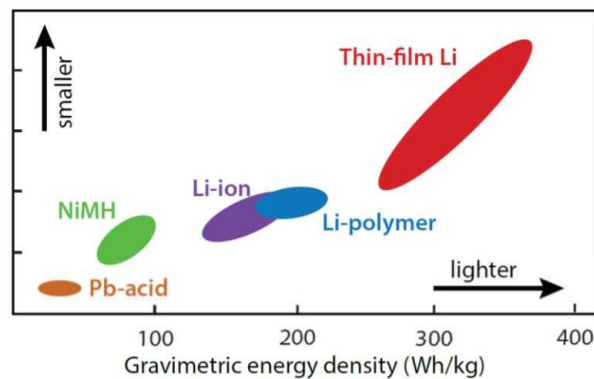


Figura 11. Tecnología de las baterías secundarias.

Fuente: PV3x,
2019

Del grafico PV3x (2019) recomienda que lo ideal es seleccionar una batería de poco peso y pequeñas, pero en los extremos superior y derecho del grafico se vuelve más caro, por lo que las baterías de plomo-ácido son una opción relativamente más económica debido a su baja densidad de energía gravimétrica y baja densidad de energía volumétrica, seguidas de las baterías de ion-litio

Sobre el costo nivelado de la electricidad o LCOE. El LCOE PV3x (2019) lo define como el costo por kWh de electricidad generado por un determinado sistema de energía. Generalmente se usa para comparar los costos de por vida de proyectos basados en varias fuentes de energía. Para el costo nivelado, se determinan los costos generales de una planta de energía durante su vida útil. En términos simples, si conocemos el rendimiento anual del sistema fotovoltaico a lo largo de su vida útil y los costos del sistema.

El fundamento teórico de la posición solar se realiza de acuerdo a lo expuesto por

Maldonado (2011): “Cualquier punto de la tierra se puede localizar por sus coordenadas globales, denominadas Latitud (ϕ) y Longitud (λ). Por convención, se toman valores positivos para el hemisferio norte y negativos para el sur” (pp.1-3).

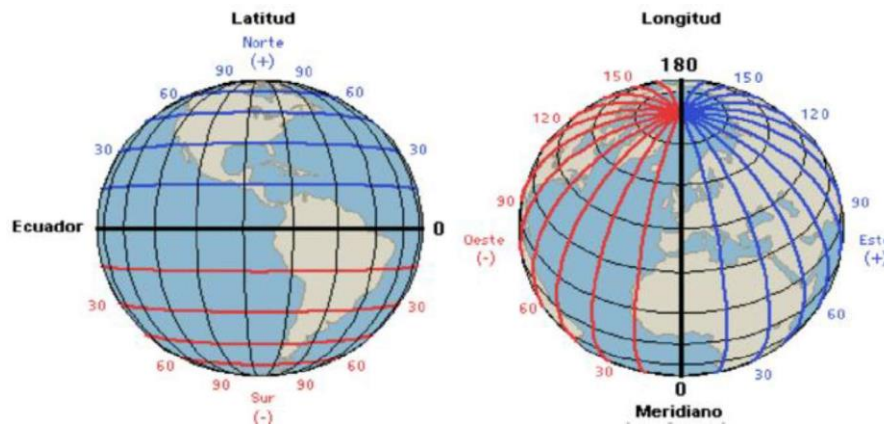


Figura 12. Latitud y longitud.

Fuente: Dokumen,
2016

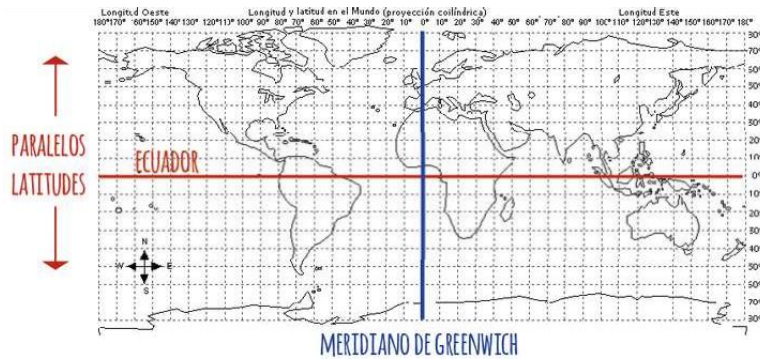


Figura 13. Paralelos y meridianos.

Fuente: Dokumen, 2016

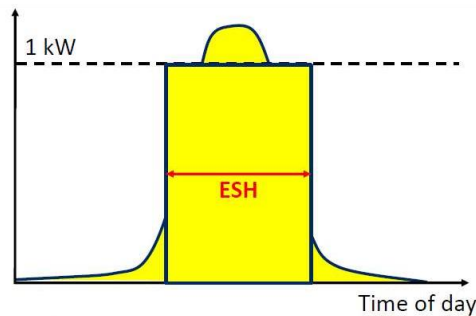
La terminología usada en sistemas fotovoltaicos es la siguiente:

Energía procedente del Sol... a Radiación solar... Sol... ondas electromagnéticas.

Irradiancia... Densidad de potencia incidente en una superficie... en kW/m².

Irradiación... Energía incidente en una superficie por unidad de superficie y a lo largo de un cierto período de tiempo... en kWh/m². TONC... Temperatura de operación nominal de la célula. (IDEA, 2011)

La Fundación Carlos Slim (2017) muestra las horas equivalentes de sol o equivalent sun hours (ESH) o también llamado horas sol pico (HSP) como se observa en la siguiente figura:



$$ESH = \frac{\int_{day} G dt}{G_{AM1.5}} = \left[\frac{Wh/m^2}{W/m^2} \right] = [h]$$

Figura 14. Horas equivalentes de sol.

Fuente: PV3x,
2019

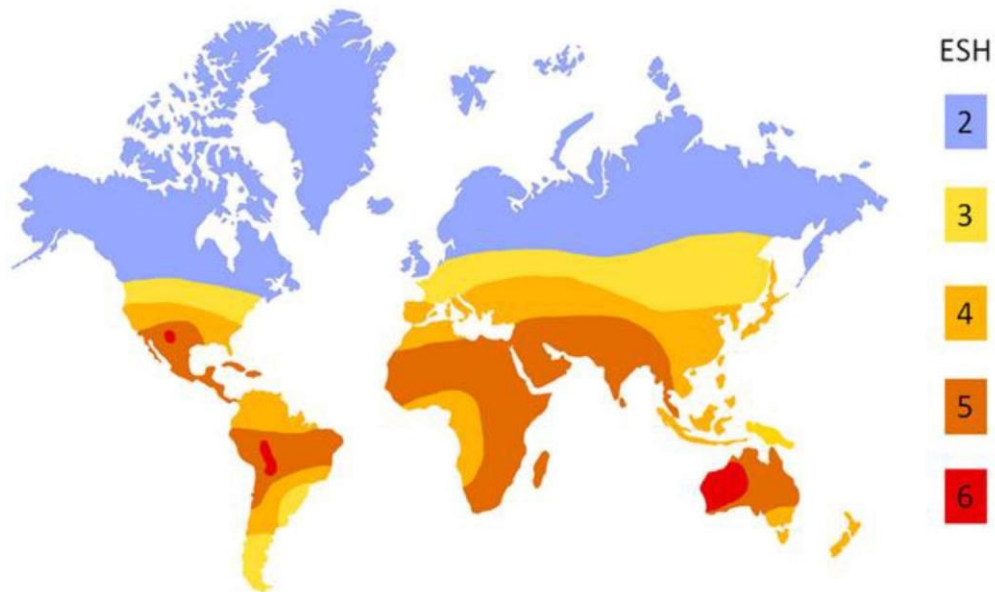


Figura 15. Mapa HSP mundial.

Fuente: PV3x, 2019

La presente investigación se justifica social y políticamente porque la tarifa eléctrica se ha incrementado en un 51% durante el 2010 al 2018 (Medina, 2018), por lo que su implementación contribuirá a la economía de la comunidad y evitara la emisión de gases del efector invernadero por lo que se enmarca en la política gubernamentales que protegen el medio ambiente. El aporte científico de la tesis es el de elaborar un estudio inédito de Propuesta de iluminación de plaza de armas de Chimbote con sistema fotovoltaico autónomo 2018.

De los antecedentes de la investigación se evidencia que a nivel nacional el estudio del diseño de iluminación con sistemas fotovoltaicos es incipiente. El Perú tiene una de las más altas tarifas eléctricas de Sudamérica superada solo por Uruguay, energía cuesta 16.1 centavos (de como lo indica Vela secretario técnico de la Comisión de Energía de la Sociedad Nacional de

Industrias (citado por Medina, 2018): “En el Perú, la

dólar) el kilovatio hora; en Chile es 12.6 centavos el kilovatio hora y en Colombia es 14 centavos". Dado que el Perú al estar ubicado próximo a la línea ecuatorial tiene una

alta radiación solar que se propone aprovechar eléctricamente en iluminación de espacios públicos.

En la actualidad el alumbrado de la plaza de armas de Chimbote cuenta con ocho postes metálicos de 15m con 06 pastorales y 06 luminarias tipo reflector - Led de 220W de potencia a 220V de tensión suministrado por la concesionaria de energía eléctrica Hidrandina, por lo que presenta una potencia instalada de iluminación de 10.56 kW ($8 \times 6 \times 0.22$) con un consumo diario de energía durante 12 horas de 126.72 kWh/día, la que el estudio propone suministrar con un sistema fotovoltaico para ahorrar energía. La problemática del estudio se basa en desarrollar una Propuesta de iluminación de plaza de armas de Chimbote con sistema fotovoltaico autónomo 2018.

Tabla 1. Definición conceptual y operación de variables en estudio.

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Técnica	Instrumentos
Iluminación con sistema fotovoltaico o autónomo	Iluminación es la fuente de luz constituida por un material semiconductor” (Houghton Mifflin Company, 2005). Sistema fotovoltaico: “producen electricidad a partir de la luz que incide... mediante el efecto fotoeléctrico. (Wikipedia, 2019)	Se determinar la potencia pico del sistema fotovoltaico para la demanda de iluminación.	Energía del sistema de iluminación	Energía (kWh)		-Perfil de carga de iluminación de plaza de armas de Chimbote para un sistema fotovoltaico autónomo 2018 (Anexo 1).
			Horas equivalentes de sol	Horas (h)	Recopilación y análisis de datos secundarios	-Cálculo de número de baterías según tecnología y número de días de autonomía (Anexo 3).
			DOD	Tecnología gel o Litio		-Análisis de costos de inversión por tipo de tecnología de baterías y días de autonomía. (Anexo 4).
			Rentabilidad	Mayor S/.VAN, y TIR, menor payback y costo nivelado de la energía (ctm\$/kWh)		-Las horas equivalentes de sol o horas sol pico HSP promedio en el módulo fotovoltaico con inclinación de 10° en Chimbote (Anexo 5).

La hipótesis de la investigación es desarrollar un sistema fotovoltaico autónomo que permitiría un ahorro de energía y una disminución de monóxido de carbono.

El objetivo general de la investigación es realizar una propuesta de iluminación de plaza de armas de Chimbote con sistema fotovoltaico autónomo 2018.

Los objetivos específicos de la investigación son los siguientes:

- Determinar la energía eléctrica del sistema de iluminación actual de la plaza de armas de Chimbote.
- Estimar las horas equivalentes de sol promedio incidente en los módulos fotovoltaicos.
- Dimensionar el sistema fotovoltaico en función de la demanda de iluminación
- Determinar el valor actual neto, la tasa interna de retorno, tiempo de retorno de la inversión, costo nivelado de la electricidad y el CO₂ que se dejaría de evitar el proyecto.

METODOLOGÍA

Tipo y diseño de investigación

La investigación es de enfoque cuantitativo de alcance o “tipo” descriptivo, diseño de investigación no experimental del tipo transeccional descriptivo, los que están basados en leyes de la electricidad, luminotecnia y normativas técnica nacionales e internacional.

La población y muestra son la misma y está constituida por la plaza de armas de Chimbote. Corresponde a un muestreo no probabilístico por conveniencia.

El esquema del diseño de investigación transeccional

descriptivo: M1 O1

Donde:

M1: Diseño iluminación de la plaza de armas de

Chimbote. O1: Observaciones del sistema fotovoltaico

autónomo Técnica e instrumentos de investigación

La técnica utilizada en el estudio es la recopilación y análisis de datos secundarios o llamada análisis documental como lo indica Hernández, Méndez, & Mendoza: “Se fundamenta también en información disponible recolectada gubernamentales... Organizaciones privadas... Organizaciones no gubernamentales... ... provenientes de fuentes oficiales... Oficinas y agencias

Organizaciones internacionales” (pp. 53,56, 2014). Los instrumentos elaborados con esta técnica son: instrumento 1 - Máxima demanda (W) y energía (kWh); instrumento 2 - Irradiación diaria en Chimbote.

Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se realizó con los programas con Microsoft Excel 2016 para cálculos fotovoltaicos y económicos. El análisis se realizó con tablas, gráficas, de consumo de energía eléctrica, y la evaluación de los costos asociados.

El desarrollo del procesamiento de datos para alcanzar los objetivos de la investigación fueron los siguientes:

A. Se analizó y estudio la información bibliográfica de diseño de sistemas fotovoltaicos autónomos.

- B. Se determinó la energía eléctrica del sistema de iluminación actual de la plaza de armas de Chimbote teniendo como datos de entrada el plano mostrado en el anexo 17 y el cuadro de potencia de cada luminaria tipo led mostrado en la tabla 2, obteniendo el consumo diario energético.
- C. Para estimar las horas equivalentes de sol u hora solar pico (HSP) promedio incidente en los módulos fotovoltaicos se obtuvo con información de la NASA (2019) mostrados en la tabla 3 y se seleccionó el mes de menor radiación solar (Julio) para realizar los cálculos de dimensionamiento del sistema fotovoltaico.
- D. Se dimensiona el sistema fotovoltaico en función de la demanda de iluminación, determinando el número de paneles fotovoltaicos (A) con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{D * 10^3}{P * HSP * Pr}$$

Donde: D es la demanda de energía en kWh, HSP son las horas sol pico (h) y P es la potencia del módulo fotovoltaico (Wp), Pr es el factor global de pérdidas, calculado en función de las eficiencias de los equipos del sistema fotovoltaico. Se seleccionó el Inversor-Cargador Regulador MPPT para el sistema fotovoltaico (SF) verificando que: la potencia máxima del inversor es mayor a la potencia pico del SF (PV3x, 2019), la tensión máxima del SF es menor a la tensión máxima MPPT del inversor, el SF no supere a la corriente máxima de entrada al inversor y no se exceda al número máximo de módulos en serie (Autosolar, 2019).

- E. Se realizó el análisis económico del sistema fotovoltaico autónomo en función de las tecnologías (gel y litio) y de los días de autonomía de 3, 1.5 y 0.5 días para seleccionar la tecnología y días de autonomía con mayor valor actual neto y la tasa interna de retorno, menor tiempo de retorno de la inversión y costo nivelado de la electricidad, además se realizó el cálculo de CO2 que se dejaría de evitar el proyecto, según la metodología indicada por El Fondo Nacional del Ambiente Perú (2004).

RESULTADOS

La energía eléctrica del sistema de iluminación de la plaza de armas de Chimbote -

2018 se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Máxima demanda (W) y energía (kWh) de iluminación plaza de armas de Chimbote 2018

Descripción	N° Postes	N° Luminarias	Cant.	P _{Luminaria} (W)	PI (W)	MD(W)	H.Op. (h)	Energía (Wh/día)
LED de 220w en poste de 4m	8	6	48	220	10 560	10 560	12	126720
LED de 50w en poste de 4 m, tipo	8	2	16	50	800	800	12	9600
LED de 50w en poste de 4 m, tipo	8	1	8	50	400	400	12	4800
					Total MD	11 760	Total Energí	141 120

La energía eléctrica del sistema de iluminación de la plaza de armas de Chimbote se determinó en función de la potencia de las luminarias de tecnología LED de 220W y

50W, la ubicación de los puntos de iluminación se muestra en el plano Anexo 14.

El perfil de carga diario de potencia y energía del sistema de iluminación de la plaza de armas de Chimbote 2018 se muestra las siguientes figuras:

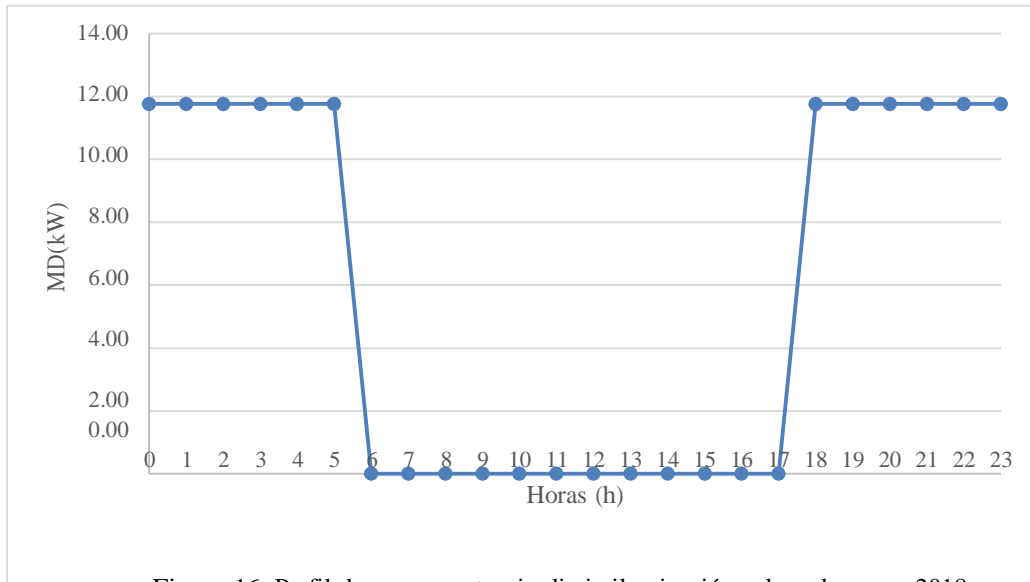


Figura 16. Perfil de carga - potencia diaria iluminación, plaza de armas 2018

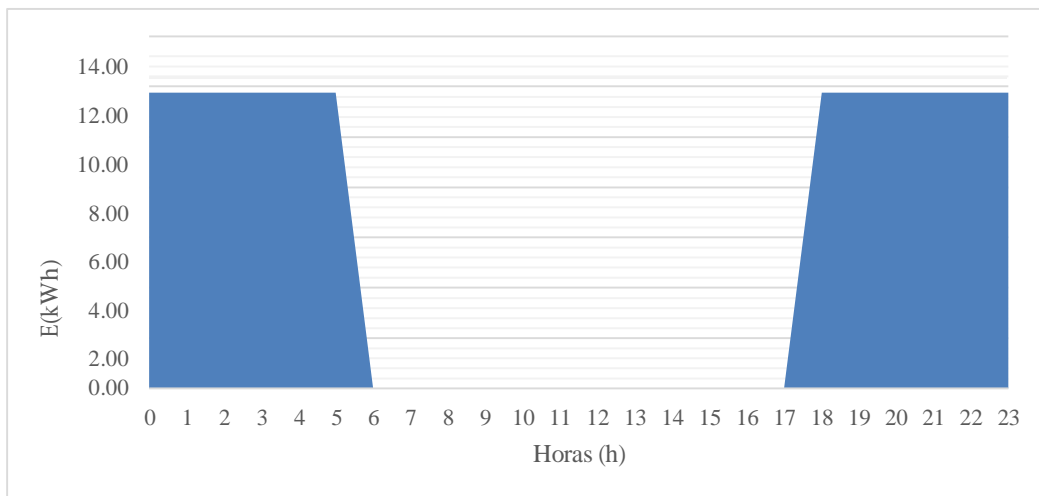


Figura 17. Perfil de carga - energía diaria iluminación de plaza de armas 2018

El perfil de carga diario de potencia y energía del sistema de iluminación de la plaza de armas de Chimbote 2018 se obtuvo teniendo como base los datos mostrados en el anexo 1.

Las horas equivalentes de sol promedio incidente en los módulos fotovoltaicos para ángulos de inclinación de 0° y 10° de la superficie dirigidos hacia el norte que se instalarían para iluminación de plaza de armas de Chimbote con sistema fotovoltaico autónomo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3. Irradiación diaria en Chimbote en superficie (S) a 0° y 10° de inclinación, hacia el norte (kWh/m2/día)

Inclinación	S0°	S10°
Ene	6.94	7.09
Feb	6.68	6.71
Mar	6.88	6.89
Abr	6.27	6.51
May	5.07	5.39
Jun	3.69	3.91
Jul	3.61	3.79
Ago	3.89	4
Set	4.34	4.38
Oct	5.31	5.29
Nov	6.08	6.17
Dic	6.71	6.88
Promedio	5.46	5.58
Máximo	6.94	7.09
Mínimo	3.61	3.79

Fuente: Nasa, 2019

De la tabla se obtiene la irradiación diaria mínima en Chimbote para una inclinación del módulo fotovoltaico igual a la latitud de la localidad (10°) que es

3.79 kWh/m2/día o su equivalente 3.79 horas equivalentes de sol para el mes de julio.

El requerimiento de carga se determina en función del factor global de pérdidas y la energía calculada para iluminación de plaza de armas de Chimbote:

Factor global de perdidas = 1.2

Energía necesaria incluido perdidas = 164 655.73 Wh/d

El factor global de pérdidas se calculó en función de la eficiencia del sistema que se muestra en el anexo 2, este factor multiplica a la energía 141 120 Wh calculada.

Para realizar el dimensionado del generador fotovoltaico se realizó en función de la potencia de los paneles fotovoltaicos (400Wp) por lo que el total de módulos por cálculo es de 109 y obtenemos un total de módulos para diseño de 110, dado que los

paneles por soporte son de 5, el área de cada módulo es de 2.01 m², por lo que el área mínima requerida es de 222 m².

El dimensionado del sistema de acumulación se realizó en función de las tecnología de baterías (Litio ó Gel) y los días de autonomía (ver cálculos en anexo 3):

- Tecnología de batería de GEL con 12V y 3.5Ah = 3.79 kWh, con una eficiencia del 92 %, el voltaje del sistema es de 48V, la energía a Suministrar es de 164.66 kWh/d, con una profundidad de descarga DOD de 0.3, para número de días de autonomía de 3 días de autonomía, 435 baterías, para 1.5 días de autonomía se calcula 218 baterías y para 0.5 días de autonomía se calcula 73 baterías.
- Tecnología de batería de Litio con 3.552 kWh, con una eficiencia del 92 %, el voltaje del sistema es de 48V, la energía a Suministrar es de 164.66 kWh/d, con una profundidad de descarga DOD de 0.9, para número de días de autonomía de 3 días de autonomía se tiene 155 baterías, para 1.5 días de autonomía se calcula 78 baterías y para 0.5 días de autonomía se calcula 26 baterías.

El dimensionado del Inversor-Cargador-Regulador MPPT (3 en 1) se realiza en función de los datos extraídos de la ficha técnica del equipo: máx. corriente de carga FV de 60A, potencia carga FV de 6400W, rango operativo MPPT min 64Vdc, rango operativo MPPT máx. 147Vdc; la tensión de circuito abierto a mínima temperatura Vocmin es de 52.96Vdc, el número de paneles en serie es de 2, se tiene un Isc a máx. temperatura de 10.62A, por lo que el número de paneles en paralelo es de 5, por que se tiene una potencia FV por arreglo de 4000 Wp, el cálculo de potencia del inversor requerida es de 12kW, el arreglo fotovoltaico es de 10 paneles, el número de arreglos es de 11.

Las variables económicas de valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), costo de electricidad en ctmSol/kWh y ctmUSD/kWh, además de toneladas de CO₂ equivalentes evitadas de emitir al año tCO₂e/año, se muestra en los siguientes tablas (ver cálculos en anexo 4):

Tabla 4. Resultados económicos por tipo de tecnología de baterías y días de autonomía

Tipo/días	Gel - 3d	Gel - 1.5d	Gel - 0.5d	Litio - 3d	Litio - 1.5d	Litio - 0.5d
VAN	-15 125 688.71	-5 513 197.30	909 896.05	-22 634 785.76	-9 331 979.08	- 348 265.48
TIR	Negativo	Negativo	10.11%	Negativo	Negativo	5.52%
ctmSol/kWh	287.08	159.05	73.51	303.03	167.61	76.16
ctmUSD/kWh	84.93	47.06	21.75	89.65	49.59	22.53
Payback años	No recuperable	24	11	No recuperable	24	11
tCO2e/año.	29.36	29.36	29.36	29.36	29.36	29.36

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La determinación de la energía eléctrica se realizó de acuerdo a la Guía N° 01 Guías de Orientación del Uso Eficiente de la Energía “Elaboración de Proyectos de y de Diagnóstico Energético” elaborado por el MINEM (2008) y se determinó la cantidad de módulos fotovoltaicos.

La irradiación diaria mínima en Chimbote para una inclinación del módulo fotovoltaico igual a la latitud de la localidad (10°) es 3.79 kWh/m²/día o 3.79 horas equivalentes de sol para el mes de julio se determinó para un ángulo de inclinación igual a la latitud de la instalación según lo indica Díaz, Castro, Santos & Vilaragut (2018).

El dimensionado del generador fotovoltaico se realizó con paneles fotovoltaicos de 400Wp, con un total de 110 módulos, por lo que se obtiene 44 kWp para iluminación de plaza de armas de Chimbote con sistema fotovoltaico autónomo 2018, Hardeep, Daljeet, & P. S., (2017) para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico residencial obtuvo una potencia pico de 6 kW y Giriantari, Kumara, & Santiari (2014) dimensionaron 144 paneles de 150 Wp, obteniendo 21.69 kWp para suplir la carga parcial de un Hotel.

El dimensionamiento del sistema de acumulación se realizó en función de tipo de tecnología de baterías y de los días de autonomía con un parámetro de DOD de 0.3 para las baterías gel y 0.9 para las baterías de litio como lo indica Autosolar (2021), se obtuvo para las siguientes cantidades de baterías gel según el número de días de autonomía: 435 baterías (3d), 218 baterías (1.5) y 73 (0.5). Para las baterías de litio

155 baterías (3d), 78 baterías (1.5d) y 26 baterías (0.5d).

Al realizar el dimensionado del Inversor-Cargador-Regulador MPPT (3 en 1) se tuvo presente el cálculo de la tensión de circuito abierto a mínima temperatura para obtener $V_{OC_{max}}$ con la formula mostrada por Gimenez $V_{oc_cell} =$
- 25) 25 de tensión

otros (2014) $V_{OC} + \beta_{V/C}(T_{cell}$ donde Voc es 49.8, β (coeficiente
-temperatura) y temperatura de operación normal de la célula se obtuvieron de
la ficha técnica del panel fotovoltaico, $T_{cell}=T_{amb}+(TONC-20).E/80$ se obtuvo con
 $T_{amb} = 13.1^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}$ de la temperatura mínima de Chimbote menos 10°C de
seguridad por factores de

cambio climático, por lo que $V_{oc_{max}}$ de 52.96Vdc, que se divide entre la tensión MPPT máx. 147Vdc del equipo por lo que el número de paneles en serie es de 2, para determinar la corriente máxima de cada panel fotovoltaico se tiene la fórmula de Gimeno y otros (2014) $I_{sc_{ca}} = I_{sc} + \alpha (T_{cell} - 25)$ de I_{sc} es corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico obtenido de la ficha técnica y α es

coeficiente de temperatura por corriente por lo que I_{sc} a máx. es de 10.62A, este valor se divide entre la máxima corriente DC admitida en el inversor 3 en 1 que es

60, obteniendo 5 paneles fotovoltaicos en paralelo, el arreglo fotovoltaico es de 2 en serie por 5 en paralelo, la potencia de cada panel fotovoltaico es de 400 W obteniendo una potencia pico por arreglo de 4kW, el cálculo de potencia del inversor de 12 kW es mayor a la máxima demanda de las cargas 11.76 kW lo que concuerda con lo señalado por Leaf Energy (2020), el arreglo fotovoltaico es de 10 paneles, el número de arreglos es de 11.

La investigación realizó un estudio económico considerando el valor actual neto del proyecto como lo han considerado Hardeep y otros (2017), de la tabla 4 de resultados económicos por tipo de tecnología de baterías y días de autonomía se tiene que solo para las baterías Gel y litio con 0.5 días de autonomía resulta un TIR positivo con

10.11% y 5.52% respectivamente, además se observa que solo las baterías gel con

0.5 días de autonomía presentan un VAN positivo con un monto de S/. 909 896.05 por lo es la tecnología y días de autonomía seleccionados en el proyecto que tiene un costo de 73.51 ctmSol por kWh o 21.75 ctmUSD/kWh y un payback de 11 años. Estos se asemejan a los determinados por Pino, & José, (2019) payback de 8.1 años, Ogunnubi & Overbye (2015) LCoE de 21.09 ctm\$/kWh, Phuong y otros (2018) 21 ctm\$/kWh y payback de 12 años, Ahmad & Osama (2017) con TIR de 9.9% y 9 años de payback; Syafii y otros (2018) payback 11 años y el estudio de Khairlybayeva y otros (2016) con TIR del 21% y un payback de 5.8 años para un sistema fotovoltaico conectado a la red. El CO2 que se dejaría de evitar el proyecto

29 tCO₂e/año, que ha sido determinado por la relación brindada por Fondo Nacional del Ambiente Perú (2004) de 0.57 tCO₂e/MWh.

CONCLUSIONES

- Se determinó la energía eléctrica del sistema de iluminación de la plaza de armas de
Chimbote - 2018 con un consumo de 141.120 kWh/día.
- Se estimó las horas equivalentes de sol promedio incidente en los módulos fotovoltaicos, con un valor de 3.79h en el módulo con inclinación de 10° en Chimbote.
- Se dimensionó el sistema fotovoltaico en función de la demanda de iluminación, obteniendo 110 módulos de 400Wp, 73 baterías de GEL de 12V y 3.5Ah para número de días de autonomía de 0.5; el inversor-cargador-regulador MPPT (3 en 1) es de 12kW; el arreglo fotovoltaico es de 10 paneles, el número de arreglos es de 11.
- El VAN del proyecto seleccionando con baterías gel es de S/. 909 896.05, TIR de 10.11%, payback de 11 años, el costo nivelado de la electricidad es de 73.51 ctmSol/kWh (21.75 ctm\$/kWh) y se determinó el CO₂ que se dejaría de evitar el proyecto de 29 tCO₂e/año.

RECOMENDACIONES

- Para realizar la instalación del sistema fotovoltaico se debe tener como requisito técnico la norma técnica de edificación EM 080 - Instalaciones con Energía Solar, especificado en el Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Al dimensionar los equipos se debe tener en cuenta que inversor a seleccionar debe ser similar al de la presente investigación. Que presenta una entrada para suministrar energía eléctrica de la red, para suplir la energía en caso se supere los días de autonomía de la batería.
- En proyectos similares se recomienda realizar el cálculo de días de autonomía para varios escenarios para seleccionar el que obtiene mayor VAN y TIR, menor payback y costo nivelado de la electricidad de autonomía y además determinar el CO₂ que se dejaría de evitar el proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul, Q. J., Andrew, R. H., Al-Khalid, O., Saleem, R. S., & Shakeel. (2012). Life cycle cost analysis of a standalone PV system. 2012 International Conference on Green and Ubiquitous Technology. Jakarta, Indonesia: IEEE.
- Ahmad, A. O., & Osama, A. (2017). Integrating solar PV with the electricity grid through conventional power plants. 2017 8th International Renewable Energy Congress (IREC). Amman, Jordan: IEEE.
- Autosolar. (6 de Junio de 2019). Autosolar. Recuperado el 6 de Junio de 2019, de <https://autosolar.pe/paneles-solares-de-red/panel-solar-era-solar-270w- policristalino>
- Autosolar. (5 de mayo de 2021). Autosolar. Obtenido de <https://autosolar.pe/baterias- de-gel/bateria-gel-12v-316ah-ultracell-ucg-320-12>
- Barad, A., Tungar, S., Sangle, N., Ketan, B., & Kadam, D. (2017). Solar panel based multi-mobile charger with LED illumination. 2017 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS). Coimbatore, India: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8276052/authors#authors>.
- Barreto, P. (2017). Suministro alternativo de energía eléctrica mediante paneles solares, para autoconsumo domiciliario en el sector urbano de Chimbote. Chimbote: Universidad San Pedro. Recuperado de <https://urlzs.com/62ndw>.
- Construcción. (25 de mayo de 2020). Construcción. Obtenido de <https://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>
- Datosmundial. (15 de Febrero de 2019). Datosmundial. Recuperado el 2019 de Febrero de 2019, de <https://urlzs.com/LC1qo>
- Dengsheng, W., Lidi, W., Xiuhua, W., Xiaofang, M., Jun, W., Dan, G., & Hui, W.

(2016). Research and design of off-grid solar PV power generation LED display system. 2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC). Yinchuan, China: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7531005>.

Díaz, R., Castro, M., Santos, A., & Vilaragut, M. (2018). Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica. *Ingeniería Energética* (pág. 146). La Habana: CITMA. Recuperado de <https://urlzs.com/2BXHq>.

- Dokumen. (23 de Junio de 2016). Dokumen. Recuperado el 30 de Junio de 2019, de <https://dokumen.tips/documents/posicion-astronomica-y-geografica-de-colombia-definicion-de-terminos-latitud.html>
- Fondo Nacional del Ambiente - Perú. (2004). El Mecanismo de Desarrollo Limpio. Lima. Recuperado de <http://fonamperu.org.pe/wp-content/uploads/2016/08/guiamdlfonam.pdf>: CONAM.
- Fundación Carlos Slim. (2017). Instalador de paneles solares . Distrito Federal: Aprende ORG. Recuperado de <https://capacitateparaelemplo.org/pages.php?r=.tema&tagID=7241>.
- Gimeno, F., Orts, S., & Seguí, S. (2014) *Curso “Energía solar fotovoltaica – una apuesta de futuro sostenible”*. València: Universitat Politècnica de València & Trina Solar. Recuperado de <https://urlzs.com/9vFBJ>.
- Giriantari, I., Kumara, I., & Santiari, D. (2014). Economic cost study of photovoltaic solar system for hotel in Nusa Lembongan. 2014 International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS). Kuta, Indonesia: IEEE.
- Google. (26 de Febrero de 2020). Google Earth. Obtenido de <https://earth.google.com/web/@-9.074589,-78.59425723,10.02429029a,258.27631042d,35y,-5.28496738h,0.23691889t,0r>
- Green Empowerment-ITDG. (2005). Manual de Capacitacion Sistemas Fotovoltaicos. Cajamarca: Green Empowerment-ITDG.
- Hardeep, S., Daljeet, K., & P. S., C. (2017). Optimal design of photovoltaic power system for a residential load. 2017 International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC). Coimbatore, India: IEEE.
- Hernández, S., Méndez, S., & Mendoza, P. (11 de Junio de 2014). Recuperado el 10 de Diciembre de 2018, de Recursos en línea de Metodología de la investigación (6a. ed.): McGRAW-HILL. Recuperado de <http://higher.ed.mheducation.com/sites/dl/free/1456223968/1016239/CAPITULO07.pdf>

Houghton Mifflin Company. (2005). «LED». The American Heritage Science Dictionary. Houghton Mifflin Harcourt. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Led>.

- IDEA. (2011). Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red. Madrid: IDEA. Recuperado de http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (8 de Enero de 2019). INEI. Recuperado el 8 de Enero de 2019, de <http://inei.inei.gob.pe/iinei/siemweb/publico/>
- Kansara, V. (2017). Solar & LED technology for energy efficient substation. 2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP). Cochin, India: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8070010/authors#authors>.
- Khairlybayeva, N., Samayeva, Z., Temirbekova, z., & Rojas-Solórzano, L. (2016). Viability of on-grid residential PV systems in southwest Kazakhstan. Case: Mangystau region. 4th IET Clean Energy and Technology Conference (CEAT 2016). Kuala Lumpur, Malaysia: IET.
- Leaf Energy. (2020). Sistema solares fotovoltaicos: Dimensionamiento, Instalacion y aplicaciones. Chimbote: Leaf Energy.
- Lia, H., Jiann-Fuh, C., Wu, T.-H., & Huang, Y.-C. (2017). Design of Solar LED Street Lamp Automatic Control Circuit. 2017 IEEE 3rd International Future Energy Electronics Conference and ECCE Asia (IFEEEC 2017 - ECCE Asia). Kaohsiung, Taiwan: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7992163/authors#authors>.
- Liew, H., & Zainal, A. (2019). A Proposed Standard Design of Solar Street Light System Towards Energy Efficiency Development for Managing Facility Planning. 2019 8th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM). Cambridge, United Kingdom: IEEE.
- Macias, H., & Ulianov, Y. (2014). Low cost off-grid solar PV and led lightning system.

2014 IEEE ANDESCON. Cochabamba, Bolivia: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7098550/authors#authors>.

Maheshkumar, N., Shubhangi, S., Manohar, S., Bhaskar, S., & Bhosale, B. (2017). Design and implementation of smart solar LED street light. 2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI). Tirunelveli, India : IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8300980/authors#authors>.

- Maldonado, P. (2011). Representación grafica de la posición solar y una superficie dada para la ciudad de Cochabamba - Bolivia. XVIII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XVIII- SPES). Lima: Recuperado de <http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2012/02/19.REPRESENTACION-GRAFICA-DE-LA-POSICION-SOLAR-Y-UNA-SUPERFICIE-DADA-PARA-LA-CIUDAD-DE-COCHABAMBA.pdf>.
- Mardikaningsih, I. S., Sutopo, W., Zakaria, R., Nizam, M., & Kadir, E. A. (2016). Evaluation and designing street lighting with solar cell: A case study. 2016 2nd International Conference of Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering (ICIMECE). Yogyakarta, Indonesia: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7910455>.
- Martyanov, A., Korobotov, D., & Solomin, E. (2017). Simulation model of public street lighting provided by a photovoltaic converter and battery storage. St. Petersburg, Russia: IEEE.
- Medina, M. (14 de Noviembre de 2018). Diario Correo - Economía. Recuperado el 4 de enero de 2019, de <https://diariocorreo.pe/economia/energia-electrica-tarifas-subieron-50-en-los-ultimos-8-anos-853675/>
- Ministerio de Energía y Minas . (2008). Guía N° 01 Elaboración de Proyectos de Guías de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético. Lima: MINEM.
- NASA. (10 de Marzo de 2019). NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) . Recuperado el 10 de Marzo de 2019, de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Ogunnubi, O., & Overbye, T. (2015). An economic valuation of solar energy potential in Nigeria. 2015 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI). Champaign, IL, USA: IEEE.
- Patiño, J., Tello, J., & Hernández, J. (2013). Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico híbrido y desarrollo de su regulador de carga aplicando instrumentación virtual. Bogota: Revista Elementos.
- Phuong, T. L., Van, D. N., & Phuong, L. L. (2018). Techno-Economic Analysis of

Solar Power Plant Project in Binh Thuan, Vietnam. 2018 4th International

- Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD). Ho Chi Minh City, Vietnam: IEEE.
- Pino, A., Pino, F., & José. (2019). Economic Analysis for Solar Energy Integration in a Microbrewery. 2019 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST). Porto, Portugal, Portugal: IEEE.
- PV3x. (15 de Enero de 2019). Solar Energy: Photovoltaic (PV) Systems. Recuperado el 1 de Julio de 2019, de https://courses.edx.org/courses/course-v1:DelftX+PV3x+1T_2018/course/
- Ranjini, B., Omsekhar, I., & Nayak, G. (2017). Design and control of power converter for LED lighting driven from the PV module. 2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT). Kannur, India: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8342535>.
- Shubham, S., Kshitij, M., & Prajakta, V. (2017). Smart street-lighting using green energy designing a novel stand-alone solar powered lighting system. Madurai, India: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8250701/authors#authors>.
- Singh, A., Marathe, P., & Mukhopadhyay, I. (2017). Energy positive solar LED streetlight system. 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS). Chennai, India: IEEE.
- SolarGis. (1 de Julio de 2019). SolarGis. Recuperado el 1 de Julio de 2019, de <https://solargis.com>
- Syafii, Novizon, Wati, & Dona, J. (2018). Feasibility Study of Rooftop Grid Connected PV System for Peak Load Reduction. 2018 5th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI). Malang, Indonesia, Indonesia: IEEE.
- Tecnológico de Monterrey. (2018). Smart grid: fundamentos técnicos. Monterrey: Tecnológico de Monterrey.

Vijay, D., Shah, K., Bhuvanewari, G., & Singh, B. (2015). LED based street lighting with automatic intensity control using solar PV. 2015 IEEE IAS Joint Industrial and Commercial Power Systems / Petroleum and Chemical Industry Conference

(ICPSPCIC). Hyderabad, India : IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7974074>.

Wang, Y., Chen, X., Tang, H., Yang, Y., Wen, H., & Lin, Y. (2018). Design a Modified Bi-Directional Converter for Solar LED Lighting System. 2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). Portland, OR, USA: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8557641>.

Wikipedia. (2019). Panel fotovoltaico. Wikipedia. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico.

ANEXOS

Anexo 1. Perfil de carga de iluminación de plaza de armas de Chimbote para un sistema fotovoltaico autónomo 2018

Tabla 5. Perfil de carga de iluminación de plaza de armas de Chimbote

Tiempo (h)	MD (kW)	E (kWh)	E acumulada (kWh)
0	11.76	11.76	11.76
1	11.76	11.76	23.52
2	11.76	11.76	35.28
3	11.76	11.76	47.04
4	11.76	11.76	58.80
5	11.76	11.76	70.56
6	0	0.00	70.56
7	0	0.00	70.56
8	0	0.00	70.56
9	0	0.00	70.56
10	0	0.00	70.56
11	0	0.00	70.56
12	0	0.00	70.56
13	0	0.00	70.56
14	0	0.00	70.56
15	0	0.00	70.56
16	0	0.00	70.56
17	0	0.00	70.56
18	11.76	11.76	82.32
19	11.76	11.76	94.08
20	11.76	11.76	105.84
21	11.76	11.76	117.60
22	11.76	11.76	129.36
23	11.76	11.76	141.12

Anexo 2. Eficiencia del sistema para el cálculo del factor global de pérdidas

Tabla 6. Eficiencias del sistema fotovoltaico

Eficiencias del calculo	
Inversor cargador 3 en 1	98%
baterías	92%
cables	97%
suciedad	98%
Total	85.71%

Anexo 3. Cálculo de numero de baterías según tecnología y número de días de autonomía.

Tabla 7. Calculo número de baterías gel con 3 días de autonomía

Capacidad Batería de Gel	3.79	kW-h
Eficiencia	92	%
Voltaje del Sistema	48	V
Energía a Suministrar	164.66	kWh/d
Profundidad de Descarga Ion Litio	0.3	
Núm., días de autonomía	3	
Número de Baterías de gel	435	

Tabla 8. Calculo número de baterías gel con 1.5 días de autonomía

Capacidad Batería de Gel	3.79	kW-h
Eficiencia	92	%
Voltaje del Sistema	48	V
Energía a Suministrar	164.66	kWh/d
Profundidad de Descarga gel	0.3	
Núm., días de autonomía	1.5	
Número de Baterías de gel	218	

Tabla 9. Calculo número de baterías gel con 0.5 días de autonomía

Capacidad Batería de Gel	3.79	kW-h
Eficiencia	92	%
Voltaje del Sistema	48	V
Energía a Suministrar	164.66	kWh/d
Profundidad de Descarga gel	0.3	
Núm., días de autonomía	0.5	
Número de Baterías de gel	73	

Tabla 10. Calculo número de baterías litio con 3 días de autonomía

Capacidad Batería de litio	3.55	kW-h
Eficiencia	92	%
Voltaje del Sistema	48	V
Energía a Suministrar	164.66	kWh/d
Profundidad de Descarga litio	0.9	
Núm., días de autonomía	3	
Número de Baterías de litio	155	

Tabla 11. Calculo número de baterías litio con 1.5 días de autonomía

Capacidad Batería de litio	3.55	kW-h
Eficiencia	92	%
Voltaje del Sistema	48	V
Energía a Suministrar	164.66	kWh/d
Profundidad de Descarga litio	0.9	
Núm., días de autonomía	1.5	
Número de Baterías de litio	78	

Tabla 12. Calculo número de baterías litio con 0.5 días de autonomía

Capacidad Batería de litio	3.55	kW-h
Eficiencia	92	%
Voltaje del Sistema	48	V
Energía a Suministrar	164.66	kWh/d
Profundidad de Descarga litio	0.9	
Núm., días de autonomía	0.5	
Número de Baterías de litio	26	

Anexo 4. Análisis de costos de inversión por tipo de tecnología de baterías y días de autonomía.

Tabla 13. Costos de inversión baterías gel con 3 días de autonomía

Nº	Descripción	Cant.	Und.	Costo S/.	Subtotal S/.
1	Panel fotovoltaico monocristalino 72 celdas	110	U.	775.00	85 250.00
2	Inversor-Cargador Regulador MPPT	11	U.	8 037.00	88 407.00
3	Baterías	435	U.	1 853.00	806 055.00
4	Soporte de paneles fotovoltaico 1x10	11	U.	1 993.26	21 925.86
5	Instalación y Materiales misceláneos	1	glob		100 163.79
Total (Soles)					1 101 801.65

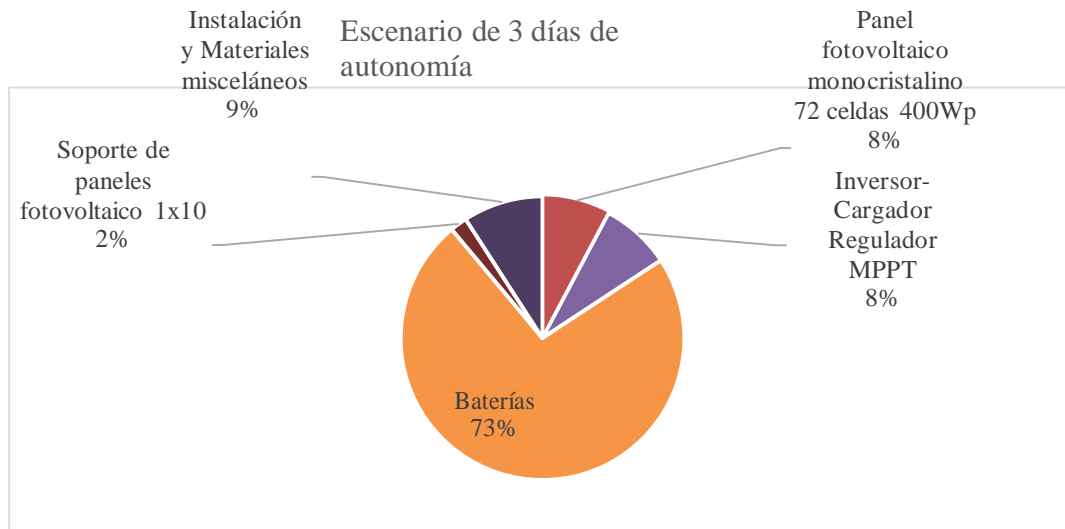


Figura 18. Escenario de 3 días de autonomía con baterías gel

Tabla 14. Costos de inversión baterías gel con 1.5 días de autonomía

Nº	Descripción	Cant.	Und.	Costo S/.	Subtotal S/.
1	Panel fotovoltaico monocristalino 72 celdas	110	U.	775.00	85 250.00
2	Inversor-Cargador Regulador MPPT	11	U.	8 037.00	88 407.00
3	Baterías gel con 1.5 días	218	U.	1 853.00	403 954.00
4	Soporte de paneles fotovoltaico 1x10	11	U.	1 993.26	21 925.86
5	Instalación y Materiales misceláneos	1	glob		59 953.69
Total (Soles)					659 490.55

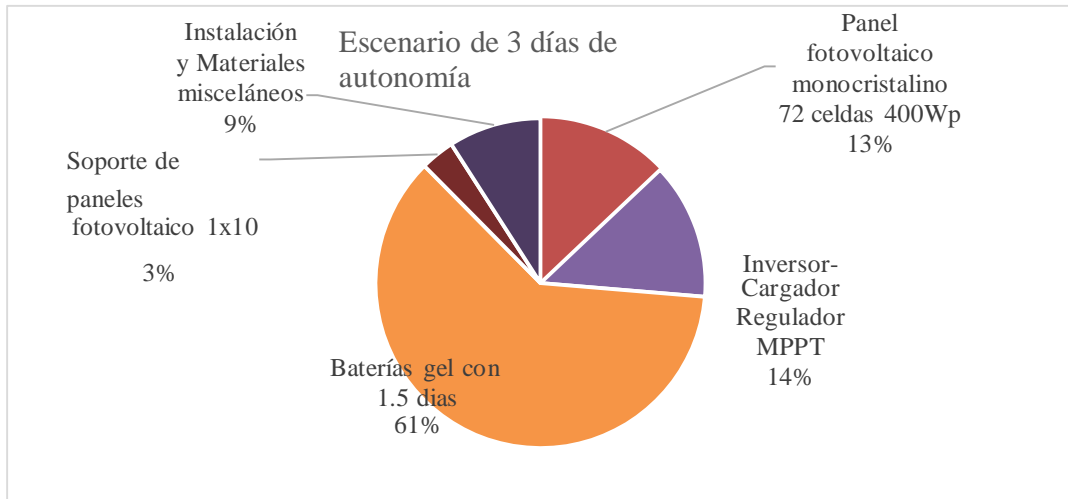


Figura 19. Escenario de 1.5 días de autonomía con baterías gel

Tabla 15. Costos de inversión baterías gel con 0.5 días de autonomía

Nº	Descripción	Cant.	Und.	Costo S/.	Subtotal S/.
1	Panel fotovoltaico monocristalino 72 celdas	110	U.	775.00	85 250.00
2	Inversor-Cargador Regulador MPPT	11	U.	8 037.00	88 407.00
3	Baterías gel con 0.5 días	73	U.	1 853.00	135 269.00
4	Soporte de paneles fotovoltaico 1x10	11	U.	1 993.26	21 925.86
5	Instalación y Materiales misceláneos	1	glob		33 085.19
Total (Soles)					363 937.05

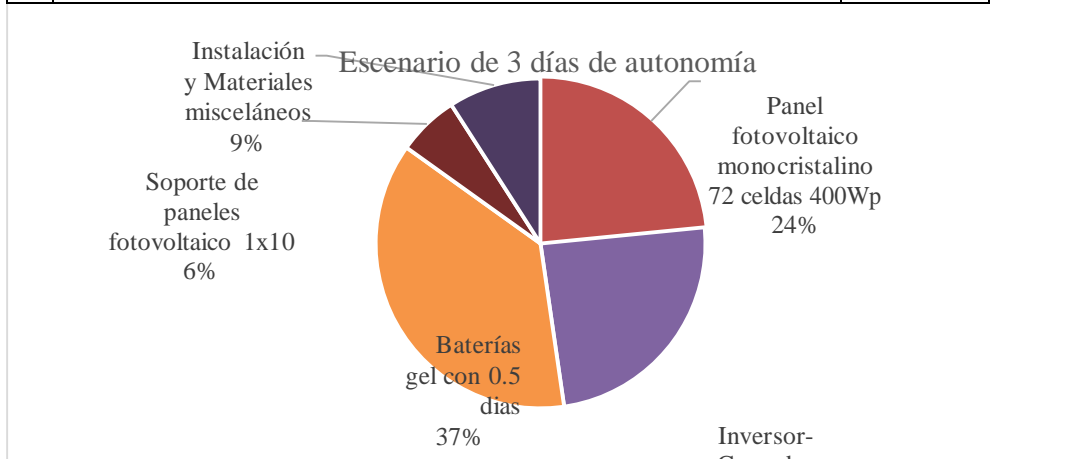


Figura 20. Escenario de 0.5 días de autonomía con baterías gel

Tabla 16. Costos de inversión baterías litio con 3 días de autonomía

Nº	Descripción	Cant.	Und.	Costo S/.	Subtotal S/.
1	Panel fotovoltaico monocristalino 72 celdas	110	U.	775.00	85 250.00
2	Inversor-Cargador Regulador MPPT	11	U.	8 037.00	88 407.00
3	Baterías litio con 3 días	155	U.	10 784.02	1 671 523.10
4	Soporte de paneles fotovoltaico 1x10	11	U.	1 993.26	21 925.86
5	Instalación y Materiales misceláneos	1	glob		186 710.60
Total (Soles)					2 053 816.56

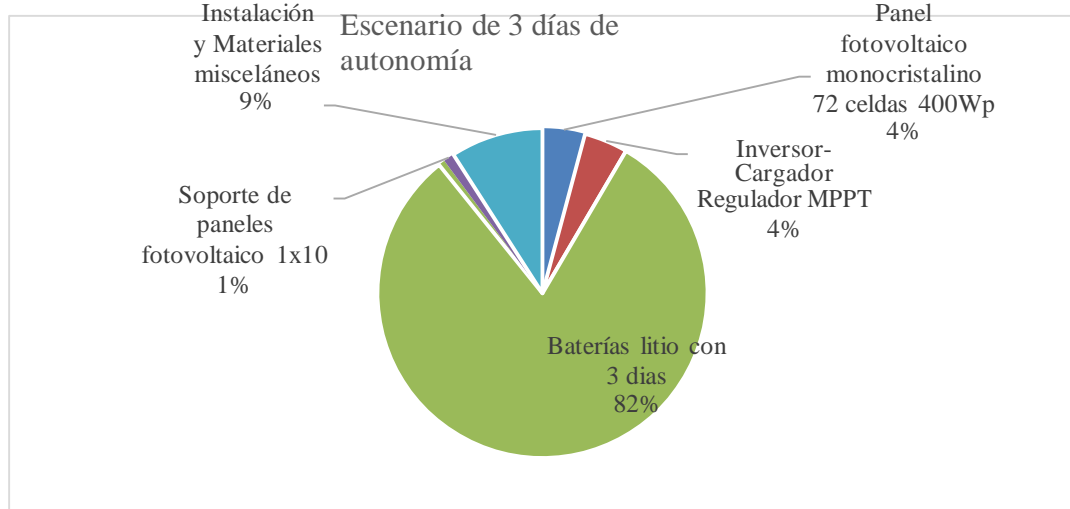


Figura 21. Escenario de 3 días de autonomía con baterías litio

Tabla 17. Costos de inversión baterías litio con 1.5 días de autonomía

Nº	Descripción	Cant.	Und.	Costo S/.	Subtotal S/.
1	Panel fotovoltaico monocristalino 72 celdas	110	U.	775.00	85 250.00
2	Inversor-Cargador Regulador MPPT	11	U.	8 037.00	88 407.00
3	Baterías litio con 1.5 días	78	U.	10 784.02	841 153.56
4	Soporte de paneles fotovoltaico 1x10	11	U.	1 993.26	21 925.86
5	Instalación y Materiales misceláneos	1	glob		103 673.64
Total (Soles)					1 140 410.06

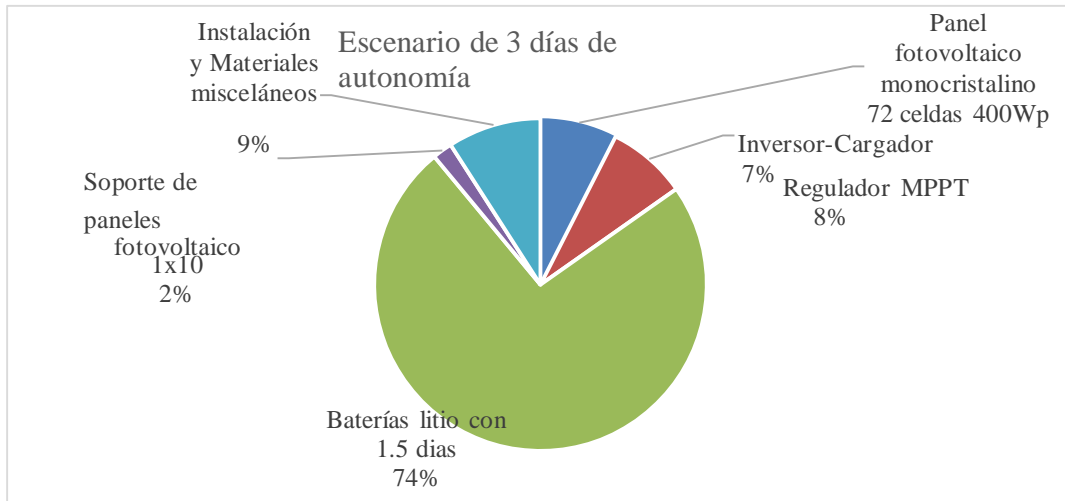


Figura 22. Escenario de 1.5 días de autonomía con baterías litio

Tabla 18. Costos de inversión baterías litio con 0.5 días de autonomía

Nº	Descripción	Cant.	Und.	Costo S/.	Subtotal S/.
1	Panel fotovoltaico monocristalino 72 celdas	110	U.	775.00	85 250.00
2	Inversor-Cargador Regulador MPPT	11	U.	8 037.00	88 407.00
3	Baterías litio con 0.5 días	26	U.	10 784.02	280 384.52
4	Soporte de paneles fotovoltaico 1x10	11	U.	1 993.26	21 925.86
5	Instalación y Materiales misceláneos	1	glob		47 596.74
Total (Soles)					523 564.12

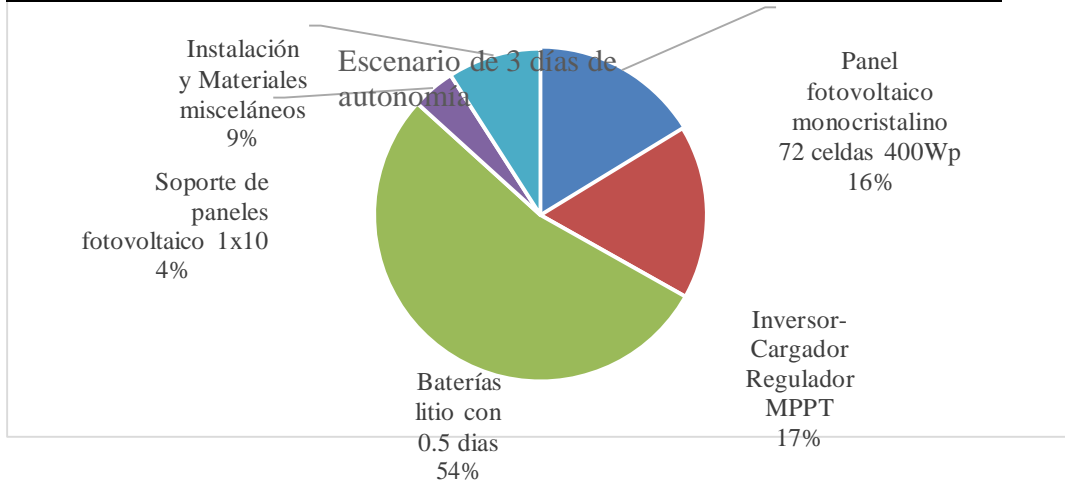


Figura 23. Escenario de 0.5 días de autonomía con baterías litio

Tabla 19. Escenario con baterías gel, 3 días de autonomía

N°	Year	ctmSol/kWh	Consumo Eléctrico		Inversión (S/.)	Flujo (S/.)
			kWh-año	Soles		
1	2018	68.86	51 508.80	35 469.47	1 101 801.65	-1 066 332.17
2	2019	73.93	51 508.80	38 080.30		-1 028 251.87
3	2020	79.46	51 508.80	40 930.85		- 987 321.02
4	2021	85.46	51 508.80	44 021.12		- 943 299.90
5	2022	91.93	51 508.80	47 351.11		- 895 948.79
6	2023	98.86	51 508.80	50 920.83		- 845 027.96
7	2024	106.25	51 508.80	54 730.26		- 790 297.70
8	2025	114.12	51 508.80	58 779.42	806 055.00	-1 537 573.28
9	2026	122.44	51 508.80	63 068.30		-1 474 504.97
10	2027	131.23	51 508.80	67 596.90		-1 406 908.07
11	2028	140.49	51 508.80	72 365.23	88 407.00	-1 422 949.84
12	2029	150.21	51 508.80	77 373.27		-1 345 576.57
13	2030	160.40	51 508.80	82 621.04		-1 262 955.52
14	2031	171.06	51 508.80	88 108.53		-1 174 846.99
15	2032	182.17	51 508.80	93 835.74	806 055.00	-1 887 066.25
16	2033	193.76	51 508.80	99 802.68		-1 787 263.57
17	2034	205.81	51 508.80	106 009.33		-1 681 254.24
18	2035	218.32	51 508.80	112 455.71		-1 568 798.52
19	2036	231.30	51 508.80	119 141.81		-1 449 656.71
20	2037	244.75	51 508.80	126 067.63		-1 323 589.08
21	2038	258.66	51 508.80	133 233.18	88 407.00	-1 278 762.90
22	2039	273.04	51 508.80	140 638.44	806 055.00	-1 944 179.46
23	2040	287.88	51 508.80	148 283.43		-1 795 896.03
24	2041	303.19	51 508.80	156 168.14		-1 639 727.89
25	2042	318.96	51 508.80	164 292.57		-1 475 435.32
		Total	1 287 720.00	2 221 345.33	3 696 780.65	-1 475 435.32

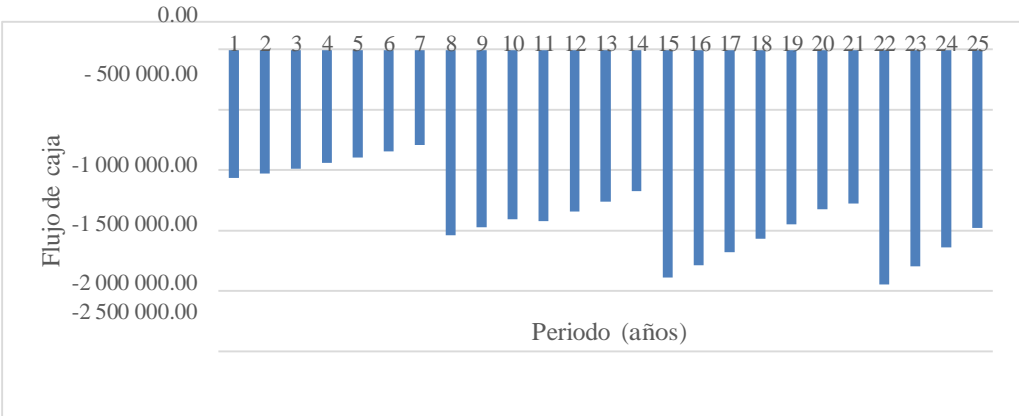


Figura 24. Flujo de caja con baterías gel, 3 días de autonomía.

Tabla 20. Escenario con baterías gel, 1.5 días de autonomía

N°	Year	ctmSol/kWh	Consumo Eléctrico		Inversión (S/.)	Flujo (S/.)
			kWh-año	Soles		
1	2018	68.86	51 508.80	35 469.47	659 490.55	- 624 021.07
2	2019	73.93	51 508.80	38 080.30		- 585 940.77
3	2020	79.46	51 508.80	40 930.85		- 545 009.92
4	2021	85.46	51 508.80	44 021.12		- 500 988.80
5	2022	91.93	51 508.80	47 351.11		- 453 637.69
6	2023	98.86	51 508.80	50 920.83		- 402 716.86
7	2024	106.25	51 508.80	54 730.26		- 347 986.60
8	2025	114.12	51 508.80	58 779.42	403 954.00	- 693 161.18
9	2026	122.44	51 508.80	63 068.30		- 630 092.87
10	2027	131.23	51 508.80	67 596.90		- 562 495.97
11	2028	140.49	51 508.80	72 365.23	88 407.00	- 578 537.74
12	2029	150.21	51 508.80	77 373.27		- 501 164.47
13	2030	160.40	51 508.80	82 621.04		- 418 543.42
14	2031	171.06	51 508.80	88 108.53		- 330 434.89
15	2032	182.17	51 508.80	93 835.74	403 954.00	- 640 553.15
16	2033	193.76	51 508.80	99 802.68		- 540 750.47
17	2034	205.81	51 508.80	106 009.33		- 434 741.14
18	2035	218.32	51 508.80	112 455.71		- 322 285.42
19	2036	231.30	51 508.80	119 141.81		- 203 143.61
20	2037	244.75	51 508.80	126 067.63		- 77 075.98
21	2038	258.66	51 508.80	133 233.18	88 407.00	- 32 249.80
22	2039	273.04	51 508.80	140 638.44	403 954.00	- 295 565.36
23	2040	287.88	51 508.80	148 283.43		- 147 281.93
24	2041	303.19	51 508.80	156 168.14		8 886.21
25	2042	318.96	51 508.80	164 292.57		173 178.78
Total			1 287 720.00	2 221 345.33	2 048 166.55	173 178.78

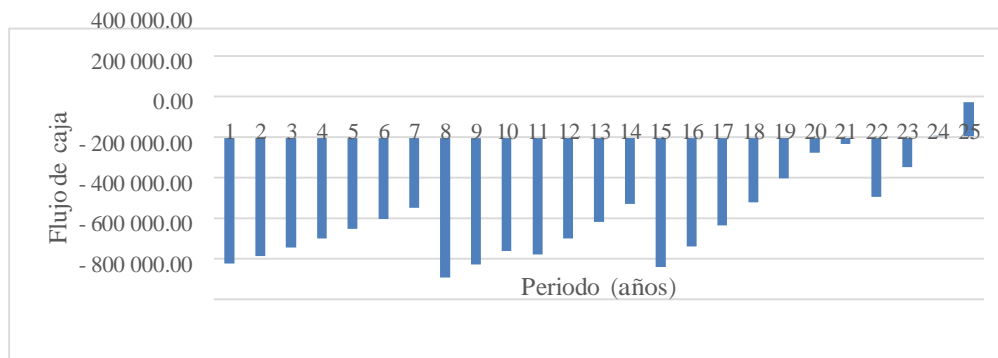


Figura 25. Flujo de caja con baterías gel, 1.5 días de autonomía.

Tabla 21. Escenario con baterías gel, 0.5 días de autonomía

N°	Year	ctmSol/kWh	Consumo Eléctrico		Inversión (S/.)	Flujo (S/.)
			kWh-año	Soles		
1	2018	68.86	51 508.80	35 469.47	363 937.05	- 328 467.57
2	2019	73.93	51 508.80	38 080.30		- 290 387.27
3	2020	79.46	51 508.80	40 930.85		- 249 456.42
4	2021	85.46	51 508.80	44 021.12		- 205 435.30
5	2022	91.93	51 508.80	47 351.11		- 158 084.19
6	2023	98.86	51 508.80	50 920.83		- 107 163.36
7	2024	106.25	51 508.80	54 730.26		- 52 433.10
8	2025	114.12	51 508.80	58 779.42	135 269.00	- 128 922.68
9	2026	122.44	51 508.80	63 068.30		- 65 854.37
10	2027	131.23	51 508.80	67 596.90		1 742.53
11	2028	140.49	51 508.80	72 365.23	88 407.00	- 14 299.24
12	2029	150.21	51 508.80	77 373.27		63 074.03
13	2030	160.40	51 508.80	82 621.04		145 695.08
14	2031	171.06	51 508.80	88 108.53		233 803.61
15	2032	182.17	51 508.80	93 835.74	135 269.00	192 370.35
16	2033	193.76	51 508.80	99 802.68		292 173.03
17	2034	205.81	51 508.80	106 009.33		398 182.36
18	2035	218.32	51 508.80	112 455.71		510 638.08
19	2036	231.30	51 508.80	119 141.81		629 779.89
20	2037	244.75	51 508.80	126 067.63		755 847.52
21	2038	258.66	51 508.80	133 233.18	88 407.00	800 673.70
22	2039	273.04	51 508.80	140 638.44	135 269.00	806 043.14
23	2040	287.88	51 508.80	148 283.43		954 326.57
24	2041	303.19	51 508.80	156 168.14		1 110 494.71
25	2042	318.96	51 508.80	164 292.57		1 274 787.28
Total			1 287 720.00	2 221 345.33	946 558.05	1 274 787.28

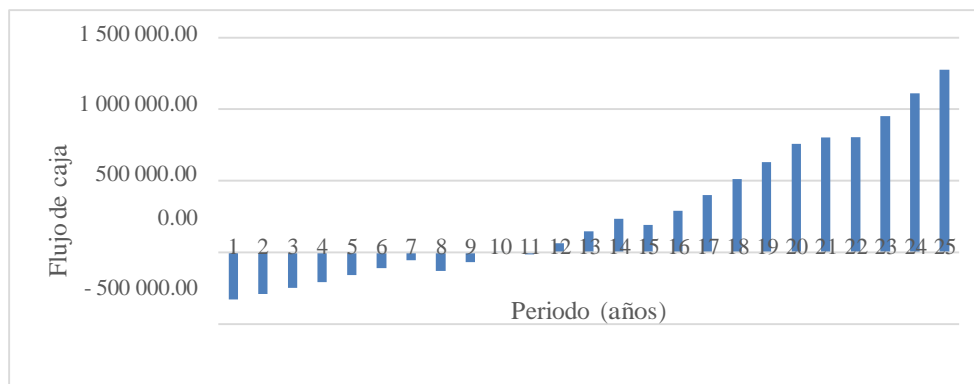


Figura 26. Flujo de caja con baterías gel, 0.5 días de autonomía.

Tabla 22. Escenario con baterías litio, 3 días de autonomía

N°	Year	ctmSol/kWh	Consumo Eléctrico		Inversión (S/.)	Flujo (S/.)
			kWh-año	Soles		
1	2018	68.86	51 508.80	35 469.47	2 053 816.56	-2 018 347.08
2	2019	73.93	51 508.80	38 080.30		-1 980 266.78
3	2020	79.46	51 508.80	40 930.85		-1 939 335.93
4	2021	85.46	51 508.80	44 021.12		-1 895 314.81
5	2022	91.93	51 508.80	47 351.11		-1 847 963.70
6	2023	98.86	51 508.80	50 920.83		-1 797 042.87
7	2024	106.25	51 508.80	54 730.26		-1 742 312.61
8	2025	114.12	51 508.80	58 779.42		-1 683 533.19
9	2026	122.44	51 508.80	63 068.30		-1 620 464.88
10	2027	131.23	51 508.80	67 596.90		-1 552 867.98
11	2028	140.49	51 508.80	72 365.23	88 407.00	-1 568 909.75
12	2029	150.21	51 508.80	77 373.27		-1 491 536.48
13	2030	160.40	51 508.80	82 621.04		-1 408 915.43
14	2031	171.06	51 508.80	88 108.53		-1 320 806.90
15	2032	182.17	51 508.80	93 835.74		-1 226 971.16
16	2033	193.76	51 508.80	99 802.68	1 671 523.10	-2 798 691.58
17	2034	205.81	51 508.80	106 009.33		-2 692 682.25
18	2035	218.32	51 508.80	112 455.71		-2 580 226.53
19	2036	231.30	51 508.80	119 141.81		-2 461 084.72
20	2037	244.75	51 508.80	126 067.63		-2 335 017.09
21	2038	258.66	51 508.80	133 233.18	88 407.00	-2 290 190.91
22	2039	273.04	51 508.80	140 638.44		-2 149 552.47
23	2040	287.88	51 508.80	148 283.43		-2 001 269.04
24	2041	303.19	51 508.80	156 168.14		-1 845 100.90
25	2042	318.96	51 508.80	164 292.57		-1 680 808.33
Total			1 287 720.00	2 221 345.33	3 902 153.66	-1 680 808.33

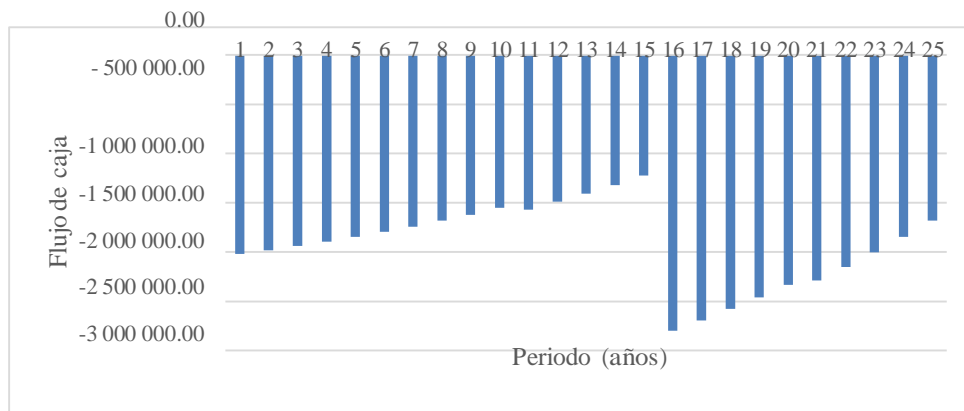


Figura 27. Flujo de caja con baterías litio, 3 días de autonomía.

Tabla 23. Escenario con baterías litio, 1.5 días de autonomía

N°	Year	ctmSol/kWh	Consumo Eléctrico		Inversión (S/.)	Flujo (S/.)
			kWh-año	Soles		
1	2018	68.86	51 508.80	35 469.47	1 140 410.06	-1 104 940.59
2	2019	73.93	51 508.80	38 080.30		-1 066 860.29
3	2020	79.46	51 508.80	40 930.85		-1 025 929.44
4	2021	85.46	51 508.80	44 021.12		- 981 908.32
5	2022	91.93	51 508.80	47 351.11		- 934 557.20
6	2023	98.86	51 508.80	50 920.83		- 883 636.38
7	2024	106.25	51 508.80	54 730.26		- 828 906.11
8	2025	114.12	51 508.80	58 779.42		- 770 126.69
9	2026	122.44	51 508.80	63 068.30		- 707 058.39
10	2027	131.23	51 508.80	67 596.90		- 639 461.49
11	2028	140.49	51 508.80	72 365.23	88 407.00	- 655 503.26
12	2029	150.21	51 508.80	77 373.27		- 578 129.98
13	2030	160.40	51 508.80	82 621.04		- 495 508.94
14	2031	171.06	51 508.80	88 108.53		- 407 400.41
15	2032	182.17	51 508.80	93 835.74		- 313 564.66
16	2033	193.76	51 508.80	99 802.68	841 153.56	-1 054 915.55
17	2034	205.81	51 508.80	106 009.33		- 948 906.21
18	2035	218.32	51 508.80	112 455.71		- 836 450.50
19	2036	231.30	51 508.80	119 141.81		- 717 308.69
20	2037	244.75	51 508.80	126 067.63		- 591 241.05
21	2038	258.66	51 508.80	133 233.18	88 407.00	- 546 414.88
22	2039	273.04	51 508.80	140 638.44		- 405 776.43
23	2040	287.88	51 508.80	148 283.43		- 257 493.00
24	2041	303.19	51 508.80	156 168.14		- 101 324.86
25	2042	318.96	51 508.80	164 292.57		62 967.71
Total			1 287 720.00	2 221 345.33	2 158 377.62	62 967.71

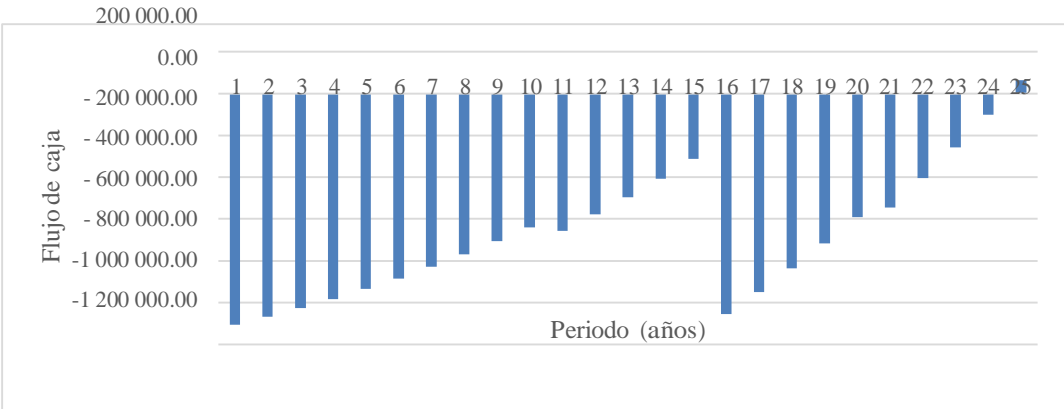


Figura 28. Flujo de caja con baterías litio, 1.5 días de autonomía.

Tabla 24. Escenario con baterías litio, 0.5 días de autonomía

Nº	Year	ctmSol/kWh	Consumo Eléctrico		Inversión	Flujo (S/.)
			kWh-año	Soles		
1	2018	68.86	51 508.80	35 469.47	523 564.12	- 488 094.64
2	2019	73.93	51 508.80	38 080.30		- 450 014.34
3	2020	79.46	51 508.80	40 930.85		- 409 083.49
4	2021	85.46	51 508.80	44 021.12		- 365 062.37
5	2022	91.93	51 508.80	47 351.11		- 317 711.26
6	2023	98.86	51 508.80	50 920.83		- 266 790.43
7	2024	106.25	51 508.80	54 730.26		- 212 060.17
8	2025	114.12	51 508.80	58 779.42		- 153 280.75
9	2026	122.44	51 508.80	63 068.30		- 90 212.45
10	2027	131.23	51 508.80	67 596.90		- 22 615.54
11	2028	140.49	51 508.80	72 365.23	88 407.00	- 38 657.31
12	2029	150.21	51 508.80	77 373.27		38 715.96
13	2030	160.40	51 508.80	82 621.04		121 337.00
14	2031	171.06	51 508.80	88 108.53		209 445.54
15	2032	182.17	51 508.80	93 835.74		303 281.28
16	2033	193.76	51 508.80	99 802.68	280 384.52	122 699.44
17	2034	205.81	51 508.80	106 009.33		228 708.77
18	2035	218.32	51 508.80	112 455.71		341 164.48
19	2036	231.30	51 508.80	119 141.81		460 306.30
20	2037	244.75	51 508.80	126 067.63		586 373.93
21	2038	258.66	51 508.80	133 233.18	88 407.00	631 200.11
22	2039	273.04	51 508.80	140 638.44		771 838.55
23	2040	287.88	51 508.80	148 283.43		920 121.98
24	2041	303.19	51 508.80	156 168.14		1 076 290.12
25	2042	318.96	51 508.80	164 292.57		1 240 582.69
Total			1 287 720.00	2 221 345.33	980 762.64	1 240 582.69

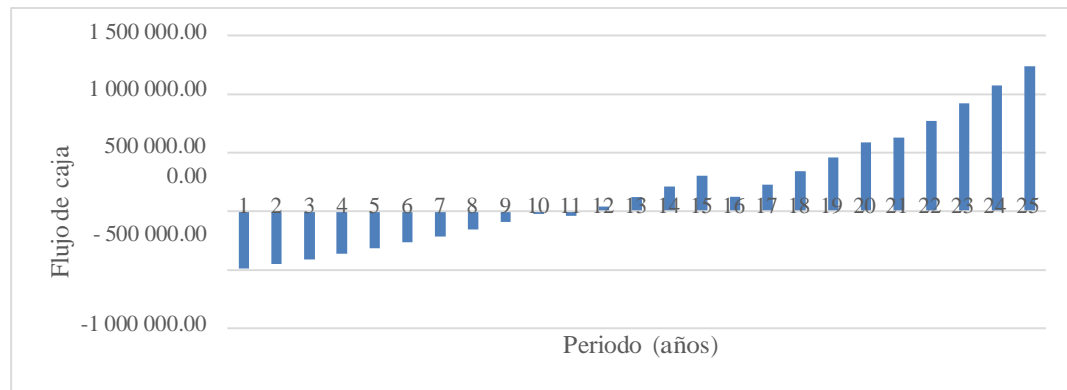


Figura 29. Flujo de caja con baterías litio, 0.5 días de

Anexo 5. Las horas equivalentes de sol o horas sol pico HSP promedio en el módulo

fotovoltaico con inclinación de 10° en
Chimbote.

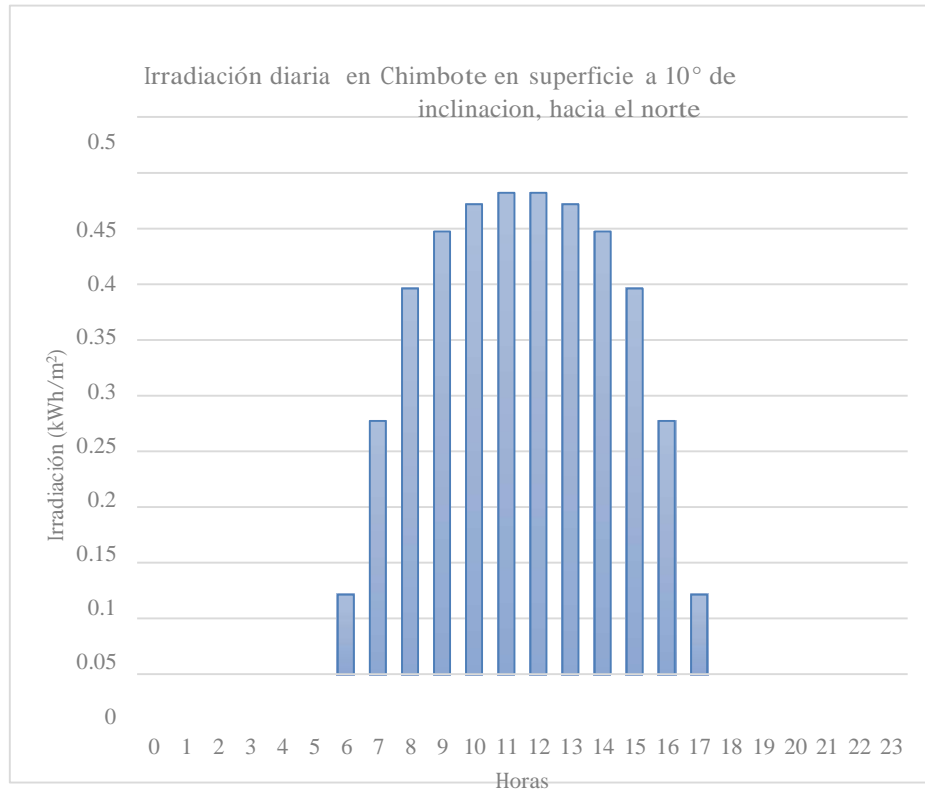


Figura 30. Las horas equivalentes de sol promedio en Chimbote.

Fuente: Nasa,
2019

Anexo 6. Temperatura máxima, mínima y promedio en Chimbote

Tabla 25. Temperatura mensual Chimbote

Mes	TMax°C	TMin °C
Enero	26.7	16.6
Febrero	27.6	17.6
Marzo	27.5	17.8
Abril	25.6	16.5
Mayo	23	15.1
Junio	22.6	13.8
Julio	21.9	13.5
Agosto	21.4	13.6
Setiembre	21.7	13.1
Octubre	22.4	13.4
Noviembre	23.7	13.9
Diciembre	25.1	15.3

Tabla 26. Temperatura anualizada para Chimbote

Altitud	8 m.sn.m.
Temperatura media	20
Temperatura máxima	27.6
Temperatura mínima	13.1

Anexo 7. Parámetros eléctricos del módulo fotovoltaico para diversas condiciones de trabajo y cálculo de tensión de circuito abierto, corriente de cortocircuito a irradiancia (E) mínima y máxima

Tabla 27. Parámetros eléctricos del módulo fotovoltaico

P_{pk} (W)	V_{OC} (V)	V_{MPP} (V)	I_{MPP} (A)	I_{SC} (A)	a (A/°C)	b (V/°C)
400	49.8	41.7	9.6	10.36	0.00497	-0.14442

Tabla 28. Cálculo de tensión de circuito abierto y corriente de cortocircuito

$E_{min}(W/m^2)$	0	$E_{max}(W/m^2)$	1300
T_{amb}	3.1	T_{amb}	37.6
T_{cell}	3.10	T_{cell}	78.23
V_{OC}	52.96	V_{OC}	42.11
I_{SC}	10.25	I_{SC}	10.62
P_{PK}	433.31	P_{PK}	319.04

Anexo 8. Tarifa eléctrica promedio anual - Chimbote

Tabla 29. Pliego tarifario de energía eléctrica 2009-2018

N°	Año	ctmSol/kWh
1	2009	46.015
2	2010	43.953
3	2011	45.636
4	2012	47.796
5	2013	49.040
6	2014	52.164
7	2015	58.348
8	2016	63.406
9	2017	63.977
10	2018	66.960

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (2019)

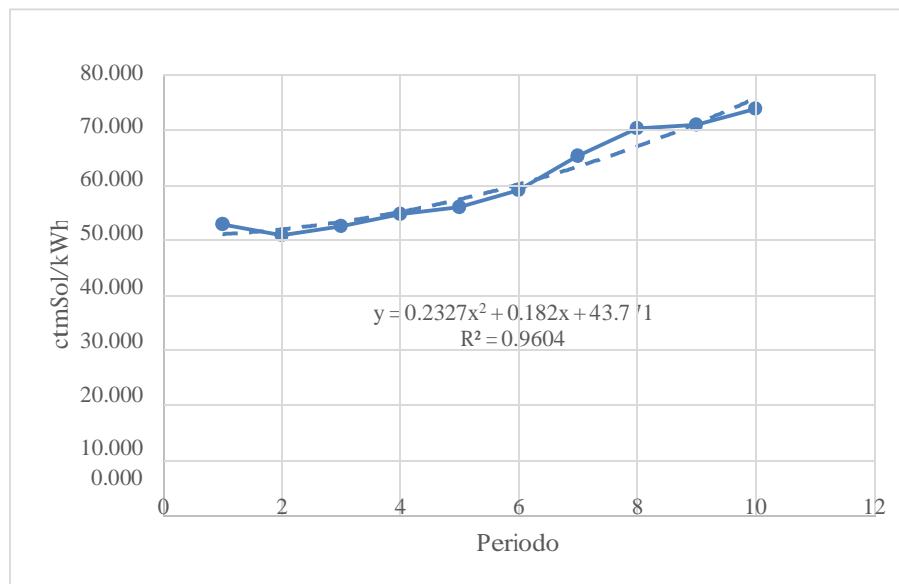


Figura 31. Evolución de la tarifa de energía eléctrica 2009-2018.

Fuente: INEI, 2019

Anexo 9. Datos técnicos del panel fotovoltaico de 400 Wp

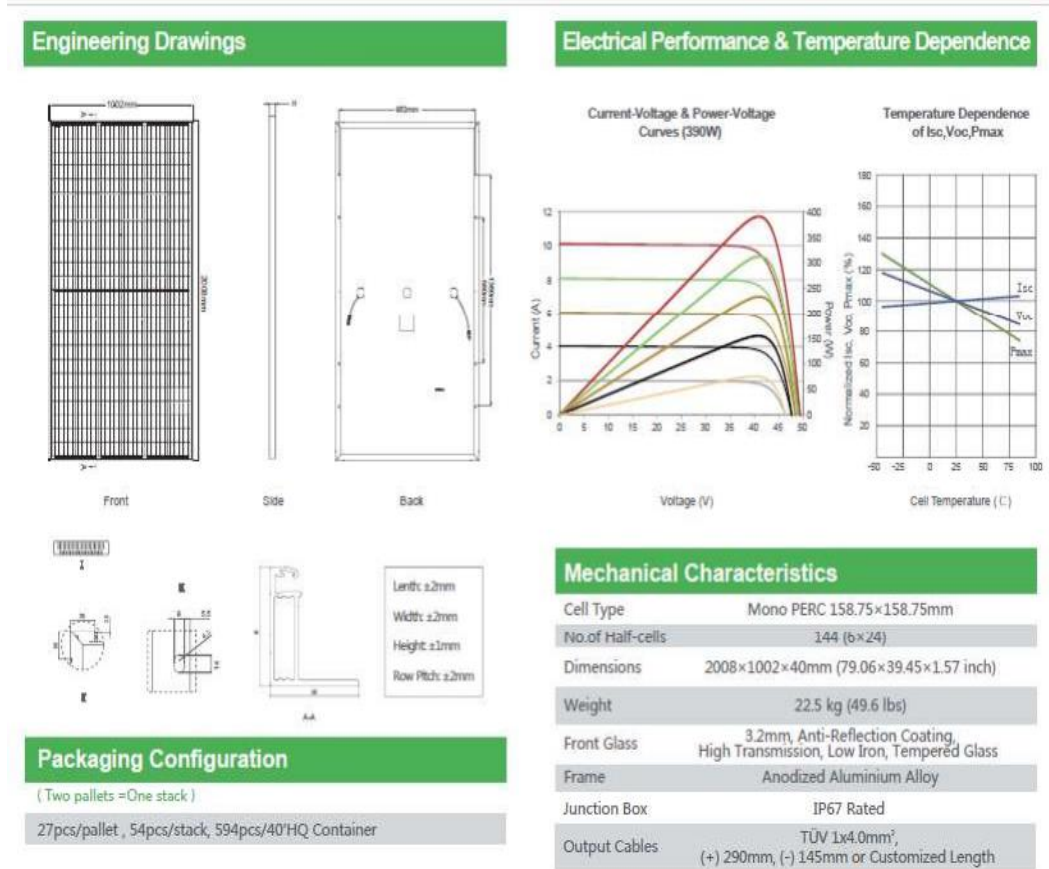


Figura 32. Especificaciones del panel fotovoltaico 400 Wp

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM390M-72H		JKM395M-72H		JKM400M-72H		JKM405M-72H		JKM410M-72H		
	JKM390M-72H-V	JKM395M-72H-V	JKM400M-72H-V	JKM405M-72H-V	JKM410M-72H-V	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	390Wp	294Wp	395Wp	298Wp	400Wp	302Wp	405Wp	306Wp	410Wp	310Wp	
Maximum Power Voltage (Vmp)	41.1V	39.1V	41.4V	39.3V	41.7V	39.6V	42.0V	39.8V	42.3V	40.0V	
Maximum Power Current (Imp)	9.49A	7.54A	9.55A	7.60A	9.60A	7.66A	9.65A	7.72A	9.69A	7.76A	
Open-circuit Voltage (Voc)	49.3V	48.0V	49.5V	48.2V	49.8V	48.5V	50.1V	48.7V	50.4V	48.9V	
Short-circuit Current (Isc)	10.12A	8.02A	10.23A	8.09A	10.36A	8.16A	10.48A	8.22A	10.60A	8.26A	
Module Efficiency STC (%)	19.38%		19.63%		19.88%		20.13%		20.38%		
Operating Temperature (°C)											-40°C~+65°C
Maximum System Voltage											1000/1500VDC (IEC)
Maximum Series Fuse Rating											20A
Power Tolerance											0~+3%
Temperature Coefficients of Pmax											-0.35%/°C
Temperature Coefficients of Voc											-0.29%/°C
Temperature Coefficients of Isc											0.048%/°C
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)											45±2°C

STC:  Irradiance 1000W/m²  Cell Temperature 25°C  AM=1.5

NOCT:  Irradiance 800W/m²  Ambient Temperature 20°C  AM=1.5  Wind Speed 1m/s

Figura 33. Ficha técnica panel fotovoltaico 400 Wp

Anexo 10. Inversor-Cargador Regulador MPPT

PV3500 Series

Inversor solar de aislada y baja frecuencia

Características

- Potencia Nominal entre 4kVA y 12kVA
- Onda senoidal pura
- Configurable desde la pantalla LCD (Modos de trabajo, estado de cargas, voltaje de baterías y de campo solar, etc.)
- Regulador MPPT de hasta 120A según versiones
- MPPT con eficiencia máxima del 98%
- Cargador AC de alta potencia de 80A
- Transformador con bobinado íntegro de cobre
- Protección contra sobretensión, sobrecarga y descarga profunda
- Con programa para PC (CD Incluido) para programación del Inversor
- Sistema de monitorización WiFi (opcional)
- Compatible con generadores de gasolina o diésel
- Con aislamiento galvánico.

Conexión del Sistema Solar



Figura 34. Especificaciones del Inversor-Cargador Regulador
MPPT

MODELO		PV35-4K		PV35-5K		PV35-6K		PV35-8K		PV35-10K		PV35-12K		
Voltaje de Baterías del Sistema		24V	48V	48V	48V	48VDC	48VDC	48VDC	48VDC	48VDC	48VDC	48VDC	48VDC	
SALIDA INVERSOR	Potencia del Inversor	4KW		5KW		6KW		8.0KW		10.0KW		12.0KW		
	Pico potencia (20ms)	12KW		15.0KW		18.0KW		24.0KW		30.0KW		36.0KW		
	Capacidad arranque motores	2HP		2HP		3HP		4HP		5HP		6HP		
	Tipo de Onda	Onda pura / Igual que en la entrada (modo bypass)												
	Voltaje nominal salida RMS	220V/230V/240VAC(+/-10% RMS)												
	Frecuencia de salida	50Hz/60Hz +/-0.3 Hz												
	Eficiencia del inversor (Pico)	>95%				>95%				>98%				
	Eficiencia modo red	>95%												
Factor de potencia	0.8													
Tiempo de transferencia típico	10ms(max)													
ENTRADA AC	Voltaje	230VAC												
	Rango voltaje seleccionable	154-272VAC(Para ordenadores)												
	Rango frecuencia	50Hz/60Hz (Automático)												
BATERÍA	Voltaje mínimo arranque	20.0VDC/21.0VDC for 24VDC mode (40.0VDC/42.0VDC for 48VDC mode)												
	Voltaje batería baja	21.0VDC +/-0.3V for 24VDC mode (42.0VDC +/-0.6V for 48VDC mode)												
	Voltaje desconexión batería baja	20.0VDC +/-0.3V for 24VDC mode (40.0VDC +/-0.6V for 48VDC mode)												
	Alarma alto voltaje	32.0VDC +/-0.3V for 24VDC mode (64.0VDC +/-0.6V for 48VDC mode)												
	Recuperación alarma alto voltaje	31.0VDC +/-0.3V for 24VDC mode (62.0VDC +/-0.6V for 48VDC mode)												
	Consumo en vacío / modo espera	<25W con ahorro de energía						<25W con ahorro de energía						
CARGADOR AC	Voltaje cargador	En función voltaje batería												
	Térmico protección entrada AC	30A		30A		30A		40A		50A		63A		
	Protección sobrecarga	31.4VDC para modelo 24VDC (62.8VDC para modelo 48VDC)												
	Máxima corriente de carga	65A	40A	35A	40A	70A	80A	100A						
BTS	Potencia continua salida	En función de la demandada y con regulación según temperatura batería												
PROTECCIÓN Y BYPASS	Onda de entrada	Senoidal (red o generador)												
	Frecuencia nominal entrada	50Hz o 60Hz												
	Protección sobrecarga	Térmico												
	Protección cortocircuito salida	Térmico												
	Potencia térmico de bypass	40A				80A				80A				
Comente máxima bypass	40Amp				80Amp				80Amp					
REGULADOR MPPT	Máxima corriente carga FV	00A				00A(120A Opcional)				00A(120A Opcional)				
	Voltaje DC	24V/48V Automático												
	Potencia carga FV	1600W	3200W	3200W	3200W	3200W(6400W para modelo 120A)								
	Rango operativo MPPT	32-145VDC para 24V ,64-147V para 48V				64-147VDC				64-147VDC				
	Voltaje Máximo FV Circuito abierto	147VDC												
	Eficiencia máxima	>98%												
CARACTERIST. FÍSICAS	Consumo en stand-by	<2W												
	Instalación	En pared												
	Tamaño	620*385*215mm						670*410*215mm						
	Peso neto (Regulador solar) kg	36	41	44	60+2.5	75.75+2.5	75.75+2.5	88+2.5	95.5+2.5	95.5+2.5	95.5+2.5	95.5+2.5	95.5+2.5	95.5+2.5
	Tamaño caja (W*H*D)	755*515*455mm						884*818*443mm						
Peso caja (Regulador solar) kg	56	61	64	89+2.5	95.5+2.5	95.5+2.5	95.5+2.5	95.5+2.5	95.5+2.5	95.5+2.5	95.5+2.5	95.5+2.5		
Rango temperatura de trabajo	0°C to 40°C													

Figura 35. Ficha técnica Inversor-Cargador Regulador MPPT

Anexo 11. Solución a problemas del Inversor-Cargador Regulador MPPT

Problema	Explicación/Causa	Solución
El dispositivo se apaga durante el proceso de arranque	Las baterías no están bien conectadas o el voltaje en las mismas es muy bajo.	Compruebe las baterías, fusibles en caso de estar instalados y conexiones. Recargue las baterías.
No hay salida de corriente alterna y no se enciende ninguna luz	El inversor se ha apagado manualmente y está en la posición OFF.	Conecte el inversor desde el interruptor y pruebe a encenderlo sin el modo de ahorro de energía.
El voltaje en la salida del inversor es bajo y los consumos se desconectan en poco tiempo.	Batería baja	Compruebe el estado de las baterías. Realice un proceso de carga completo.
El cargador no funciona y el inversor no reacciona a la entrada AC	La señal eléctrica en la entrada AC es inestable o con parámetros fuera de rango. Mal contacto de la conexión AC	Asegúrese de que la frecuencia y el voltaje de la entrada AC está dentro del rango admisible. Compruebe las conexiones del cableado de AC
El cargador deja de cargar desde el generador expulsándolo	La señal eléctrica en la entrada AC es inestable o con parámetros fuera de rango.	Asegúrese de que el generador produce una onda adecuada. Limite la potencia de carga del cargador para generadores poco potentes.
Sonido extraño del transformador / unidad de potencia	Ocurre cuando se conectan productos específicos como secadores de pelo, decapadores y otros consumos similares, que ofrecen varias posiciones de potencia	No utilice este tipo de productos ya que la onda que demandan de energía a determinadas posiciones de potencia de salida no es senoidal y puede estropear el inversor

Figura 36. Solución a problemas del Inversor-Cargador Regulador MPPT

Anexo 12. Mapa de Radiación horizontal global Perú

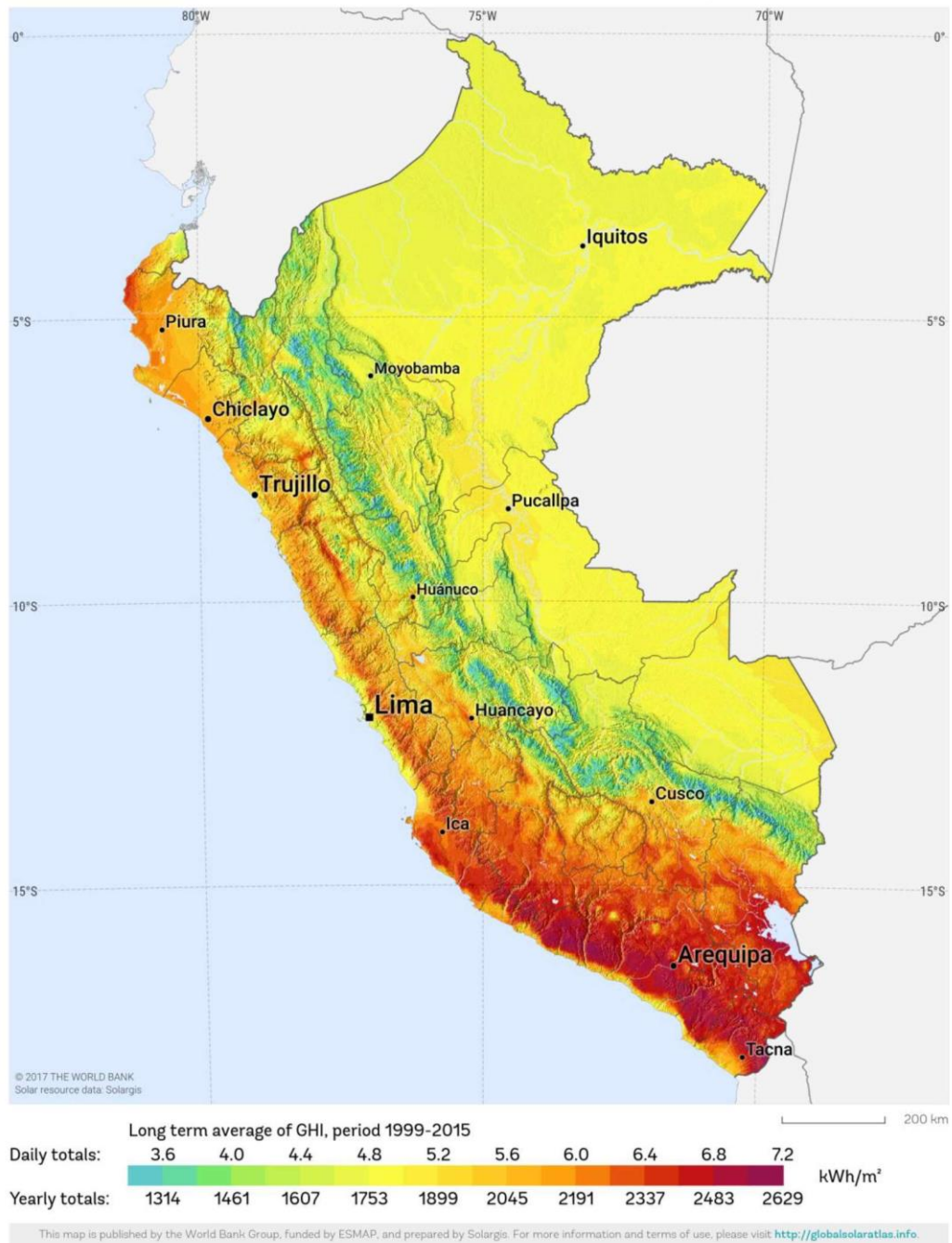


Figura 37. Radiación horizontal global
Perú.

Fuente: SolarGis,
2019

Anexo 13. Área disponible para instalación de paneles fotovoltaicos

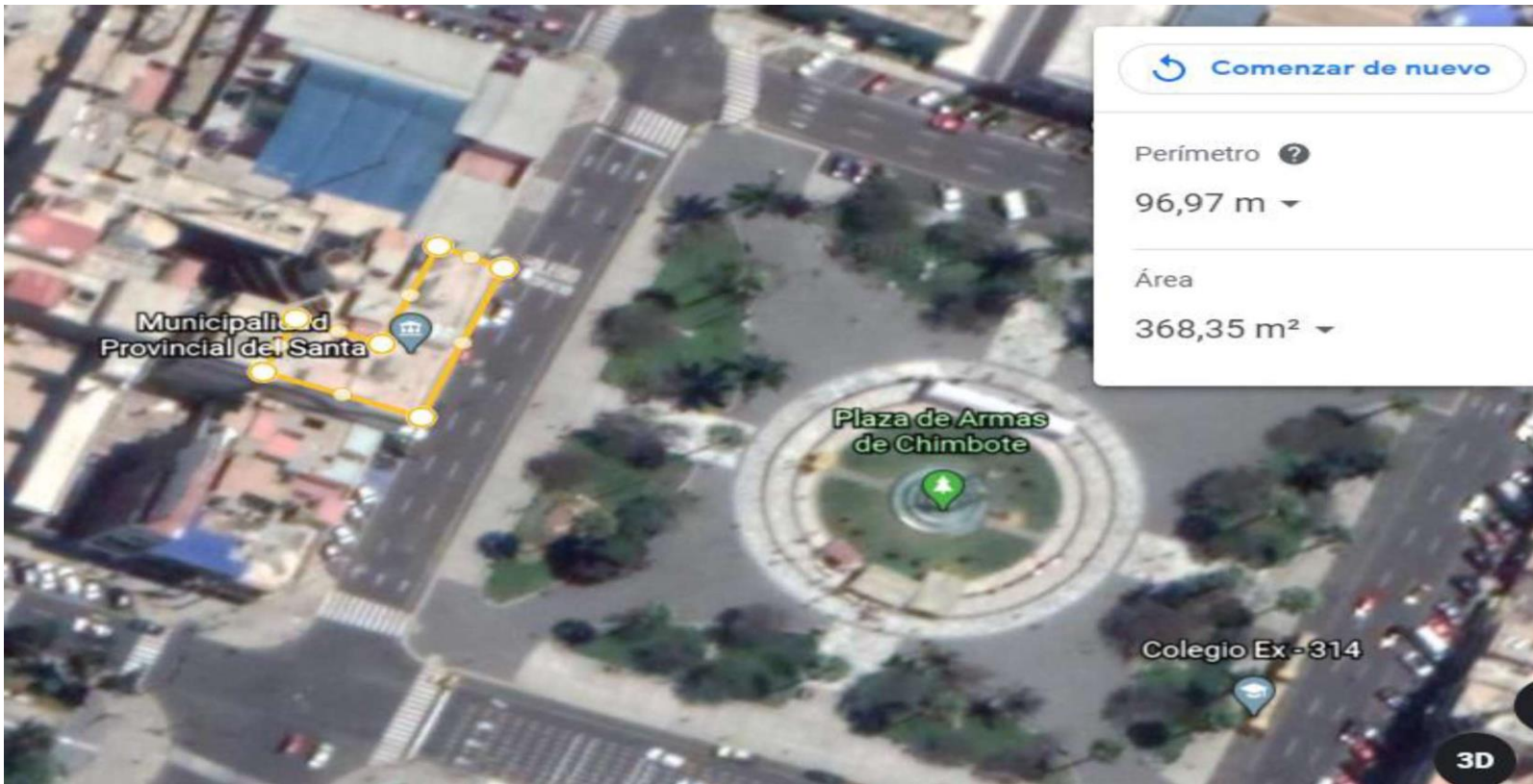


Figura 38. Área para instalación de paneles fotovoltaicos en Municipalidad Provincial del Santa.

Fuente: Google, 2020

Anexo 14. Detalle de los paneles fotovoltaicos

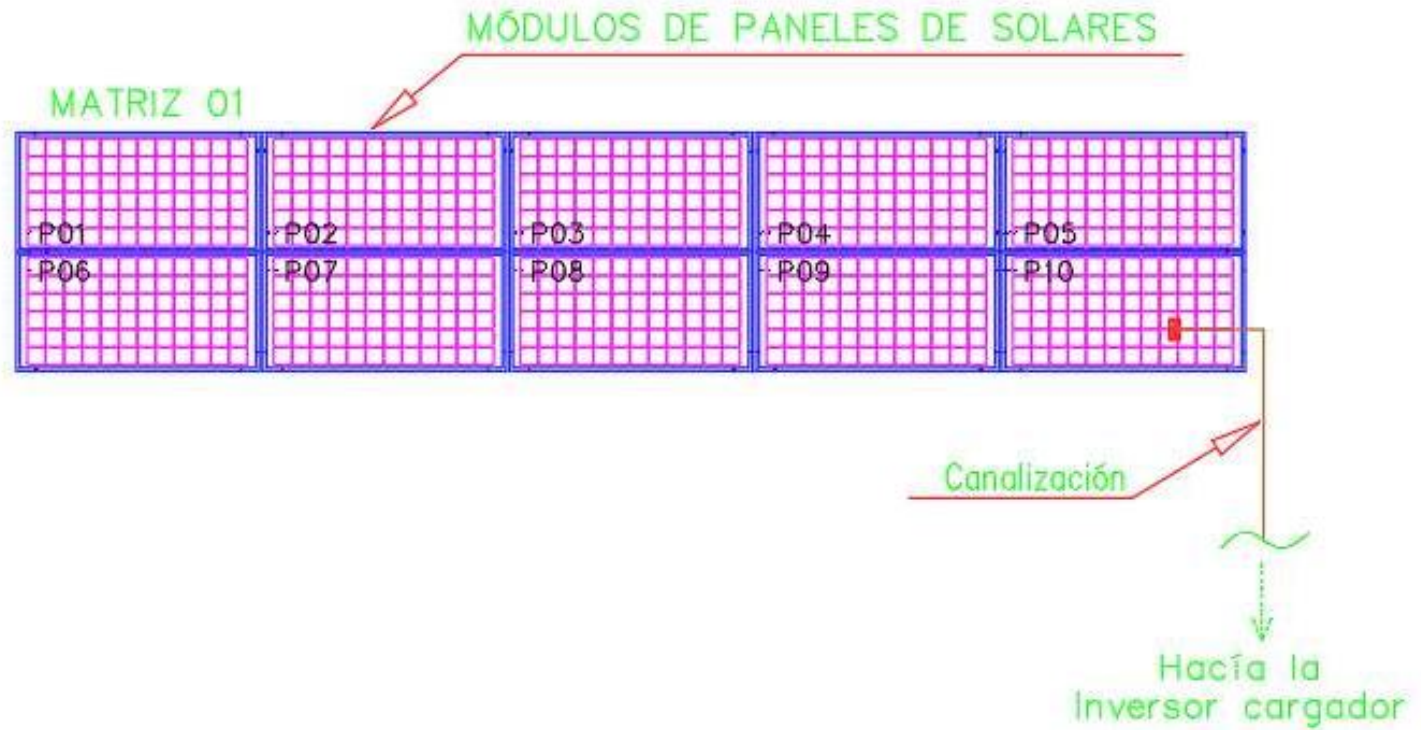


Figura 39. Arreglos de módulos fotovoltaicos - 4
kWp
60

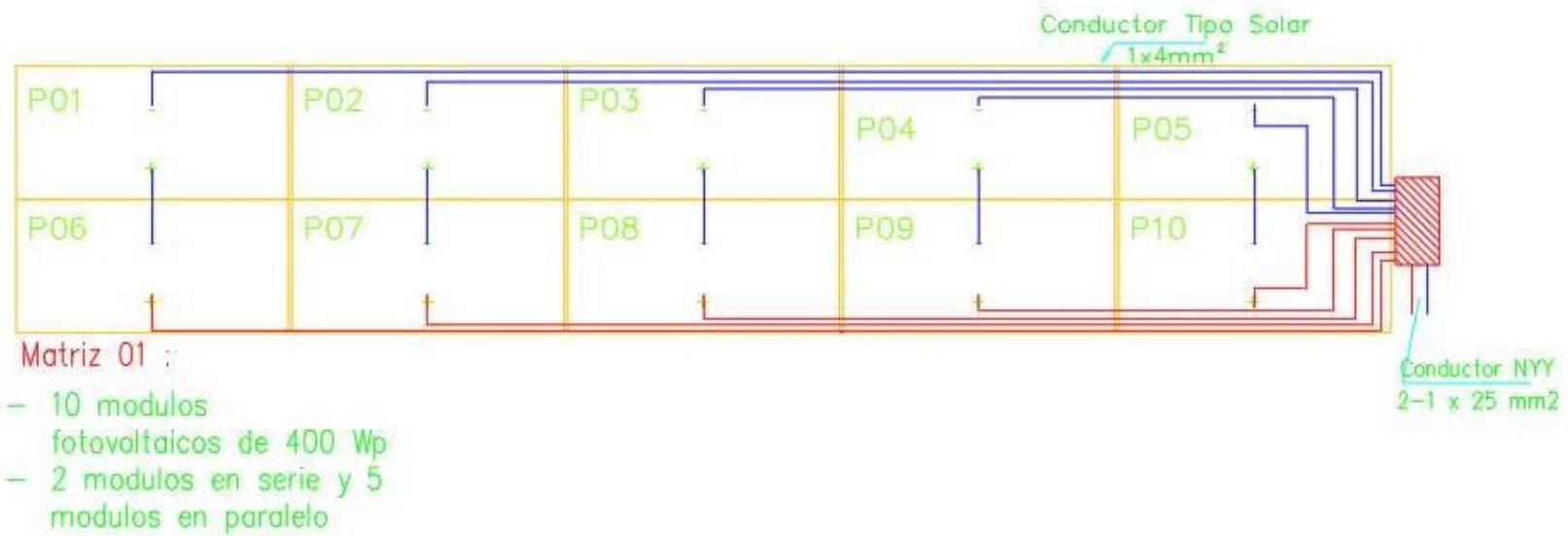


Figura 40. Conexión entre los paneles fotovoltaicos de la matriz 01

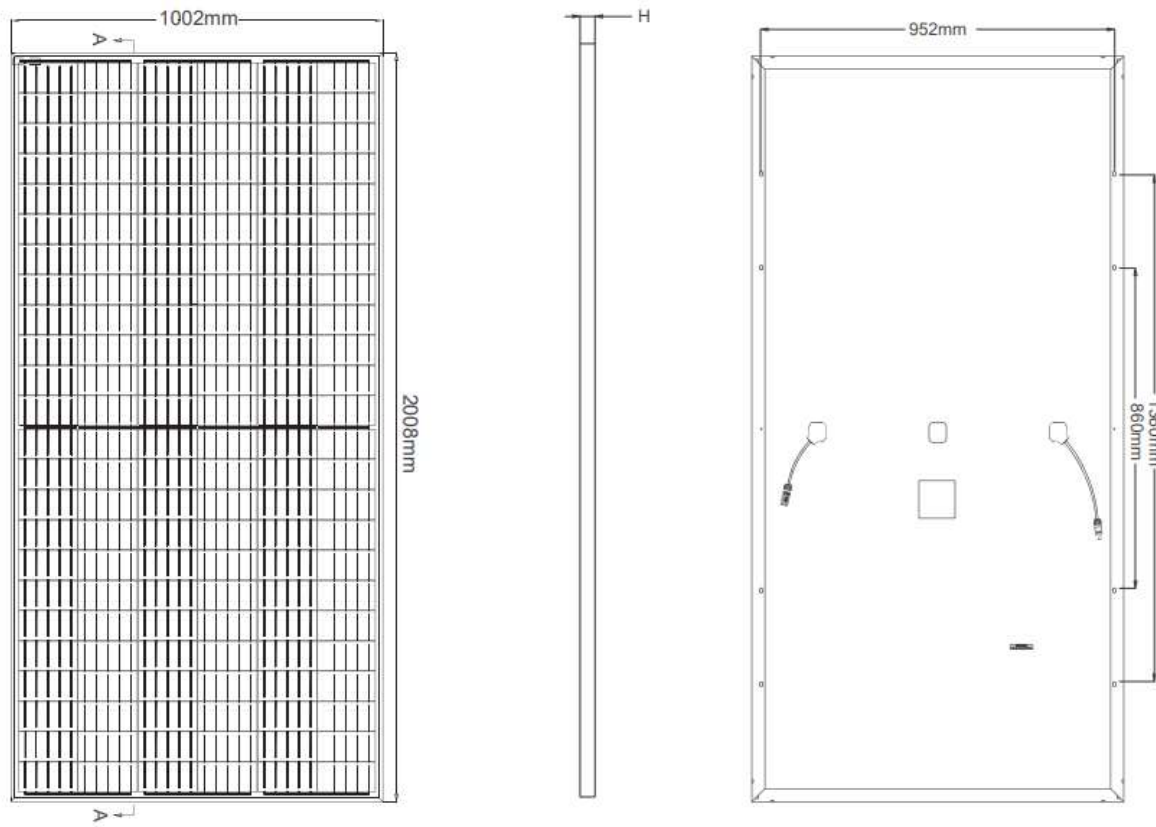


Figura 41. Dimensiones del panel fotovoltaico de 400Wp

Tabla 30. Características física y eléctricas de los paneles fotovoltaicos

Características Físicas	Unidades
Altura	2008 mm
Ancho	1002 mm
Espesor	40 mm
Peso	22.5 kg

Características Eléctricas	Unidades
Potencia pico (P _{máx})	400 Wp
Corriente cortocircuito (I _{sc})	10.36A
Tensión circuito abierto (V _{oc})	49.8V
Corriente máxima potencia (I _{max})	9.60A
Tensión máxima potencia (V _{max})	41.7V

Anexo 15. Norma Técnica de Edificación EM 080 instalaciones con energía solar del Reglamento Nacional de Edificaciones (Construcción, 20201).

SISTEMAS

FOTOVOLTAICOS DATOS TÉCNICOS

En las siguientes tablas se muestran las características técnicas mínimas de los módulos fotovoltaicos que deberán ser proporcionados por el proveedor.

Características Físicas	Unidades
Altura	milímetros (mm)
Ancho	milímetros (mm)
Espesor	milímetros (mm)
Peso	kilogramos (kg)

Características Eléctricas	Unidades
Potencia pico (P _{máx})	watt (W)
Corriente cortocircuito (I _{sc})	ampere (A)
Tensión circuito abierto (V _{oc})	volt (V)
Corriente máxima potencia (I _{max})	ampere (A)
Tensión máxima potencia (V _{max})	volt (V)

LUGAR DE UBICACIÓN.

- Los paneles o módulos fotovoltaicos se pueden instalar en terrazas, tejados, patios, ventanas, balcones, paredes, cornisas, postes, etc. teniendo muy en cuenta que no deben existir obstáculos que les puedan dar sombra (como vegetación, nieve, tierra, elementos constructivos, otras edificaciones cercanas, otros módulos, etc.) al menos durante las horas centrales del día.
- Si se permite el montaje en los tejados, considere una separación adecuada entre los módulos y el tejado ó cubierta para permitir la circulación del aire.
- Los paneles deben ser montados de tal manera que tengan un fácil acceso a los servicios de limpieza, mantenimiento así como los espacios mínimos para una buena circulación de los usuarios. Esto también se aplica a la batería y al controlador.
- Los paneles no deben colocarse cerca de fuentes contaminantes como chimeneas industriales de combustión, carreteras polvorientas, etc. así como de elementos de almacenamiento de agua para evitar el deterioro del panel fotovoltaico.
- De preferencia los paneles deben ubicarse cerca de los lugares donde se ubicaran la unidad de control, la batería y el uso final, para evitar cables largos que elevan el costo y originan pérdidas de disipación.
- La unidad de control y batería de almacenamiento deben instalarse dentro de un espacio que pueda soportar las inclemencias del clima, los golpes, etc. y que tenga suficiente ventilación natural. Evitar los lugares expuestos directamente a la luz del sol.
- Si la batería de almacenamiento tiene electrolito líquido debe ubicarse en un ambiente aislado que evite el contacto de los gases emanados con los componentes electrónicos.

- Deben tomarse precauciones para evitar el cortocircuito accidental de los terminales de la batería.
- La instalación de los cables debe cumplir con lo estipulado en el Código Nacional de Electricidad.
- Los cables deben asegurarse a las estructuras de soporte o a las paredes, para evitar esfuerzos mecánicos sobre otros elementos de la instalación eléctrica (cajas de conexión, balastos, interruptores, etc.).
- Así mismo, su ubicación no debe conllevar ningún riesgo para la seguridad y la salud de las personas por lo que se tiene que dejar libre las rutas de escape en caso de emergencias.

ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN

- La orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos debe analizarse de tal modo que reciba una óptima radiación solar para el abastecimiento eléctrico de la vivienda de acuerdo con los usos y necesidades.
- Los paneles fotovoltaicos estacionarios deben estar orientados hacia el norte y mantener un ángulo de inclinación equivalente a la latitud del lugar de instalación mas 10 grados.

ESTRUCTURA DE SOPORTE

- Si el montaje se hace sobre la cobertura o tejado, las estructuras de soporte no deberán fijarse a las tejas o a las calaminas, sino a las vigas u otro elemento de la estructura de la vivienda.
- La estructura del techo o marco de soporte así como el anclaje de los paneles deben ser lo suficientemente fuertes para soportar las cargas extras como las del viento (especialmente en áreas donde se dan ventiscas o tormentas). Como el panel es rectangular, la mínima fuerza de palanca ejercida por el viento se tiene cuando el lado más largo es paralelo a la superficie de montaje (suelo o techo).
- En caso de utilizarse estructuras metálicas, éstas deberán pintarse con un esmalte anticorrosivo no contaminante para proteger la integridad del panel fotovoltaico. Si se quiere utilizar ángulos de acero galvanizados y no vive cerca del mar (aire salino) puede usar ferretería de acero. En todos los casos se deberán sellar adecuadamente las perforaciones hechas en las azoteas para no perjudicar la impermeabilización del mismo.
- Si ubica una estructura de soporte sobre el techo, considere una separación adecuada entre los paneles y el techo, para facilitar su ventilación. Esta recomendación es muy importante si el techo es metálico. Para techos que no son planos, el ángulo de inclinación del soporte debe incluir el del techo. Si vive en la montaña y nieva considerablemente, el sostén debe tener una altura superior al máximo previsto para la acumulación de nieve, para evitar el sombreado de las células. En estos lugares, coloque el lado más corto del panel fotovoltaico paralelo al suelo, a fin de que la nieve resbale al calentarse el mismo.
- Debe tomarse en cuenta que el cálculo y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de módulos permita las necesarias dilataciones térmicas sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los paneles fotovoltaicos.
- El diseño de las estructuras de soporte debe facilitar la limpieza de los módulos fotovoltaicos y la inspección de las cajas de conexión.

SUPERFICIE Y PESO

- Superficie
La superficie que se requiere para una instalación con paneles fotovoltaicos depende de la irradiación solar del lugar, de la potencia y energía que se requiere suministrar así como de las características técnicas del módulo fotovoltaico.
Para cálculos preliminares de diseño arquitectónico se puede considerar que para cada kWp de paneles fotovoltaicos se requiere una superficie aproximada de 10 m².
- Peso
El peso del panel fotovoltaico varía de acuerdo a la superficie que ocupa. Se puede considerar un aproximado de 15 kg/m².
Por otro lado la estructura de soporte del panel fotovoltaico varía de acuerdo al material empleado (hierro, aluminio, madera, etc.), a la forma de anclaje, etc.
Hay que prever la resistencia de la superficie que la soporta como techos de torta de barro, concreto, paja, etc.

PROTECCIONES Y ELEMENTOS DE SEGURIDAD ELÉCTRICA

- La instalación fotovoltaica incorporará los elementos y las características necesarias para garantizar en todo momento la calidad y la seguridad del suministro eléctrico (frente contactos directos e indirectos, cortocircuitos, sobrecargas, etc.) de modo que cumplan las directivas del Código Nacional de Electricidad.
- La Toma a Tierra debe ser conectada al marco metálico del panel fotovoltaico. De haber más paneles, conecte los marcos metálicos entre sí utilizando alambre conductor para puesta a tierra. El propósito de esta conexión es conducir cualquier carga eléctrica inducida en la superficie del panel a tierra, cuando se producen tormentas eléctricas. La misión de esta tierra no es actuar como pararrayo, sino conseguir que las cargas inducidas sobre la superficie del panel fotovoltaico se redistribuyan en una mayor superficie (tierra).
- Blindaje, si se quiere proteger los cables contra roedores puede usarse un blindaje mecánico usando una cobertura espirada flexible, estos blindajes deben ser cortados diagonalmente, paralelo al espiral, como los bordes son filosos y disparesos se hace necesario terminar el blindaje usando conectores que protejan la zona del corte y, a la vez, puedan ser insertados en una de las partes removibles de las cajas de conexiones.

Anexo 16. Matriz de consistencia de Propuesta de iluminación de plaza de armas de Chimbote con sistema fotovoltaico autónomo 2018

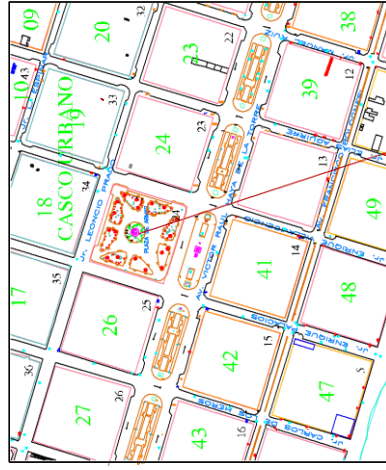
Tabla a1. Matriz de consistencia del estudio.

Problema / Hipótesis	Objetivos	Variable	Dimensión	Indicador	Técnica	Instrumentos	Metodología
<p>La problemática del estudio se basa en desarrollar una Propuesta de iluminación de plaza de armas de Chimbote con sistema fotovoltaico autónomo 2018.</p> <p>La hipótesis de la investigación es desarrollar un sistema fotovoltaico autónomo que permitiría un ahorro de energía y una disminución de</p>	<p>El objetivo general de la investigación es realizar una propuesta de iluminación de plaza de armas de Chimbote con sistema fotovoltaico autónomo 2018.</p> <p>Los objetivos específicos de la investigación son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Determinar la energía eléctrica del sistema de iluminación actual de la plaza de armas de Chimbote. 	<p>Illuminación con sistema fotovoltaico autónomo</p>	Energía del sistema de iluminación	Energía (kWh)	<p>Recopilación y análisis de datos secundarios</p>	<p>-Perfil de carga de iluminación de plaza de armas de Chimbote para un sistema fotovoltaico autónomo 2018 (Anexo 1).</p> <p>-Cálculo de número de baterías según tecnología y número de días de autonomía (Anexo 3).</p> <p>-Análisis de costos de inversión por tipo de tecnología de baterías y días de autonomía. (Anexo 4).</p>	<p>Enfoque cuantitativo del tipo descriptivo, de diseño no experimental del tipo transeccional descriptivo.</p> <p>M1 O1</p> <p>Donde:</p> <p>M1: Diseño iluminación de la plaza de armas.</p> <p>O1: Observaciones del sistema fotovoltaico autónomo</p>
			Horas equivalentes de sol	Horas (h)			
			DOD	Tecnología gel o Litio			
			Rentabilidad	Mayor S/.VAN, y TIR, menor payback y costo nivelado de la energía (ctm\$/kWh)			

<p>los módulos fotovoltaicos</p> <p>.</p> <p>-Dimensionar el sistema fotovoltaico en función de la demanda de iluminación</p> <p>-Determinar el valor actual neto, la tasa interna de retorno, tiempo de retorno de la inversión, costo nivelado de la</p>			<p>HSP promedio en el módulo fotovoltaico con inclinación de 10° en Chimbote (Anexo 5).</p>
--	--	--	---

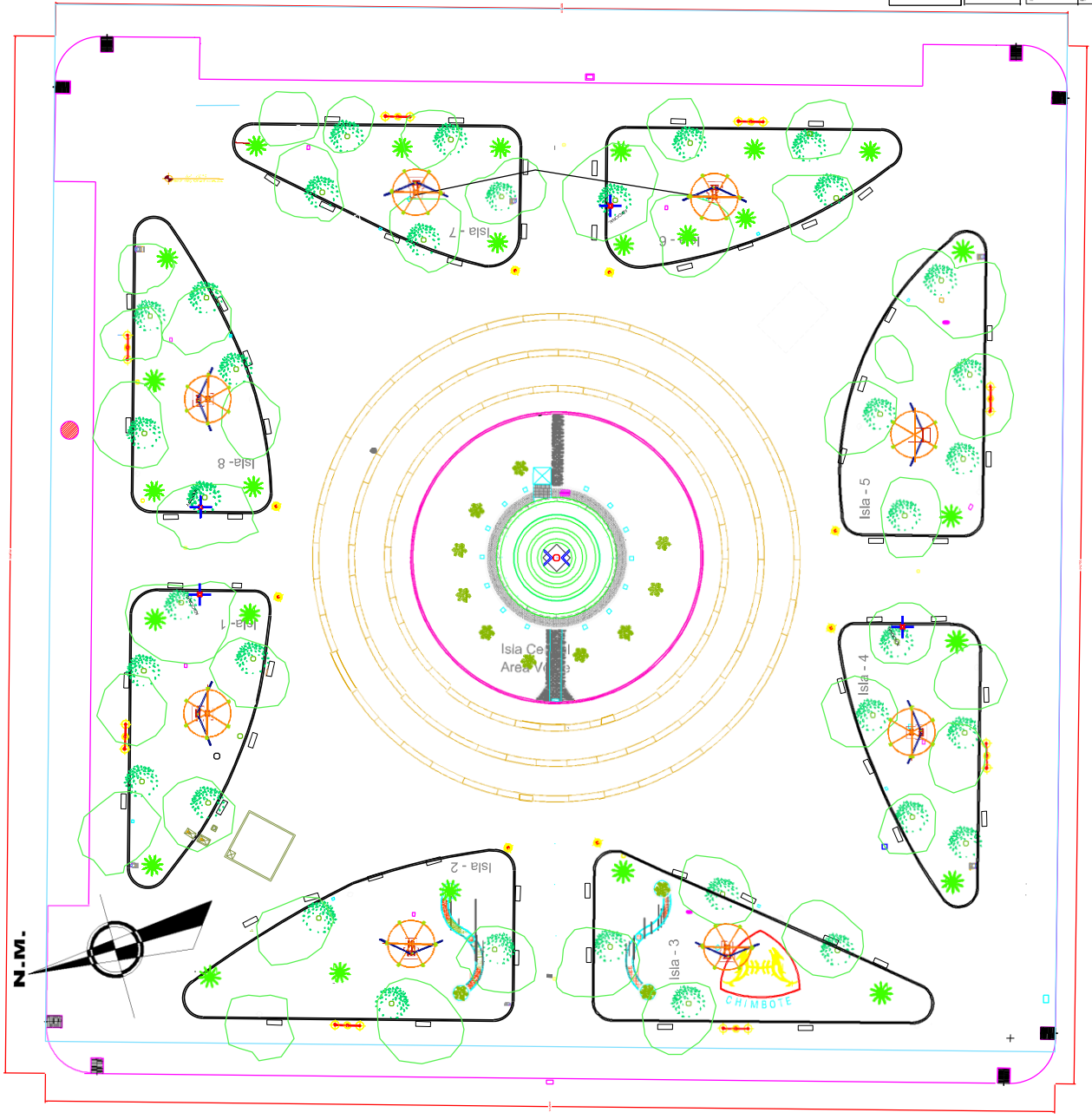
electricidad y el CO2 que se dejaría de evitar el proyecto.

Anexo 17. Puntos de iluminación- Sistema Fotovoltaico Autónomo



UBICACION DE PLAZA DE ARMAS
ZONA DE PROYECTO DE ILUMINACION.

LEYENDA	
SIMBOLO	DESCRIPCION
	POSTE DE FIERRO DE 16m CON 04 REFLECTORES LED 220W
	POSTE DE FIERRO DE 4m - CON DOS FAROLAS LED DE 50W
	POSTE DE FIERRO DE 4m - CON UNA FAROLA LED DE 50W



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL SANTA
 GERENCIA DE OBRAS PUBLICAS - DEPARTAMENTO DE ALUMBRADO PUBLICO.

MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACION DE LA PLAZA DE ARMAS DEL CASCO URBANO DEL CASCO URBANO DEL DISTRITO DE CHIMBOTE, DISTRITO DE CHIMBOTE.

PROYECTO: FOTOVOLTAICO AUTONOMO
 DISTRITO: SANTA CHIMBOTE
 REGION: ANCASH
 DEPARTAMENTO: SANTA CHIMBOTE
 FECHA: 17/2010
 N° PLANOS: 01
 TITULO: AP-IE-01
 FECHA: OCTUBRE 2017