



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA DE POSGRADO

**“SUMINISTRO ALTERNATIVO DE ENERGIA
ELECTRICA MEDIANTE PANELES SOLARES, PARA
AUTOCONSUMO DOMICILIARIO EN EL SECTOR
URBANO DE CHIMBOTE”**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER
EN INGENIERIA INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN
GERENCIA DE OPERACIONES**

AUTOR:

PEDRO BARRETO ARANDA

CHIMBOTE - PERÚ

2017

**SUMINISTRO ALTERNATIVO DE
ENERGIA ELECTRICA MEDIANTE
PANELES SOLARES, PARA
AUTOCONSUMO DOMICILIARIO EN EL
SECTOR URBANO DE CHIMBOTE**

Palabras clave: sistema fotovoltaico; autoconsumo; reducción de pago; conservación medio ambiente, viabilidad económica

Key words: photovoltaic system; self-consumption; payment reduction; conservation environment; economic viability

Línea de Investigación:

03 Ambiental

0303 Energía

0303 0001 Sistemas de Energía Solar fotovoltaica para uso doméstico y productivo.

Resumen

El propósito de la investigación fue determinar el equipamiento de un sistema fotovoltaico de generación de energía eléctrica, en las viviendas del sector urbano de Chimbote que ya cuentan con suministro eléctrico, otorgado por la Empresa de Servicio público de electricidad HIDRANDINA S.A.; La generación del sistema fotovoltaico abastece la demanda o consumo de energía de la vivienda, parcial o totalmente, operando conectado con la red pública, pero sin inyectar potencia hacia ella, permitiendo un ahorro de hasta el 80% en el recibo de consumo de energía eléctrica, y contribuye a la disminución de emisión de gases de efecto invernadero, que producen las centrales termoeléctricas del sistema eléctrico interconectado nacional (SEIN).

El proceso llevado a cabo en la formulación de la presente propuesta tuvo componente investigativo de tipo tecnológico, teniendo en cuenta que fue necesaria la recolección de información relacionada con el desarrollo de un suministro alternativo de energía eléctrica mediante paneles solares, para autoconsumo domiciliario en el sector urbano de Chimbote.

Nivel de Investigación: fue propositiva, de innovación incremental, porque se desarrolló una aplicación a un proceso existente y lo que se logró fue un beneficio económico con equipos al alcance de los usuarios, que son los pobladores del sector urbano de Chimbote. Respecto al alcance temporal fue una investigación sincrónica porque se realizó el estudio en un periodo corto de tiempo.

Los resultados obtenidos en este estudio fueron la implementación de una alternativa de generación de electricidad mediante paneles solares, para autoconsumo de las viviendas del sector urbano de Chimbote, en los que estuvieron incluidas las etapas de análisis, diseño, y la viabilidad económica de la inversión.

Abstract

The purpose of the investigation was to determine the equipment of a photovoltaic system for the generation of electric power, in the houses of the urban sector of Chimbote that already have an electricity supply, granted by the Public Electricity Service Company HIDRANDINA S.A .; The generation of the photovoltaic system supplies the demand or energy consumption of the house, partially or totally, operating connected with the public network, but without injecting power to it, allowing a saving of up to 80% in the receipt of electricity consumption, and contributes to the reduction of emission of greenhouse gases, produced by the thermoelectric power plants of the national interconnected electricity system (SEIN)..

The process carried out in the formulation of this proposal had a technological research component, taking into account that it was necessary to collect information related to the development of an alternative supply of electricity through solar panels, for home consumption in the sector urban of Chimbote.

Level of Research: it was proactive, incremental innovation, because an application was developed to an existing process and what was achieved was an economic benefit with equipment available to users, who are the inhabitants of the urban sector of Chimbote. Regarding the temporal scope, it was a synchronous investigation because the study was carried out in a short period of time.

The results obtained in this study were the implementation of an alternative generation of electricity through solar panels, for self-consumption of housing in the urban sector of Chimbote, which included the stages of analysis, design, and economic viability of the investment .

Índice	pág.
I. INTRODUCCION.....	1
II. MATERIAL Y METODOS	
2.1. Tipo y diseño.....	15
2.2. Población y muestra.....	15
2.3. Técnica e instrumento.....	16
2.4. Proceso y análisis de los datos.....	16
III. RESULTADOS	
3.1.Determinar el Sistema Fotovoltaico conectado a Red (SFcR) sin inyección.....	17
3.2.Determinar el costo de producción de energía del SFcR de autoconsumo...37	
3.3.Determinar la reducción de pago con un SFcR de autoconsumo.....	44
3.4.Determinar la disminución de gases de efecto invernadero.....	45
3.5.Determinar la viabilidad económica (rentabilidad) de la inversión.....	47
IV. ANALISIS Y DISCUSION.....	62
V. CONCLUSIONES.....	69
VI. RECOMENDACIONES.....	72
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
VIII. APENDICES Y ANEXOS.....	75

INTRODUCCION

El Perú es un país tropical con valores elevados de irradiación solar por su cercanía a la línea ecuatorial, lo cual permite el aprovechamiento de la energía solar como Recurso Energético Renovable no contaminante, en reemplazo de la energía convencional obtenida de combustibles fósiles, altamente contaminante y agresiva contra el medio ambiente. Bajo esta premisa, las condiciones climatológicas garantizan la instalación de Sistemas Fotovoltaicos con paneles solares en las viviendas que ya cuentan con suministro de energía eléctrica, con la finalidad de disminuir el consumo de la Red pública y por ende reducir el pago mensual a la empresa de electricidad local, cuyas tarifas tienen un incremento permanente y considerable. El uso de paneles solares para generación de electricidad en las viviendas se conoce como Autoconsumo, y viene siendo aplicado en forma cada vez más creciente en los países desarrollados de Europa y Asia. En el Perú aún no se ha iniciado la implementación de este sistema de Autoconsumo, por lo que no hay antecedentes al respecto.

El propósito de este trabajo es comprobar la viabilidad económica de la implementación de un Sistema Fotovoltaico conectado a red sin vertimiento, para autoconsumo domiciliario en el sector urbano de Chimbote. Para tal efecto, se ha obtenido información de expertos y empresas que están a la vanguardia en la aplicación de esta tecnología.

Según Manfred (2006), indica que la energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio Peruano. En la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y bastante uniforme durante todo el año, comparado con otros países, lo que hace atractivo su uso. En términos generales, se dispone en promedio anual, de 4-5 kWh/m² día en la costa y selva y de 5-6 kWh/m² día en los andes. Esto implica, que la energía solar incidente en pocos metros cuadrados es, en principio, suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de una familia. El problema es transformar esta energía solar en energía útil y con un costo aceptable del equipamiento necesario. Según Tinoco & Huamaní (2013), realizaron un estudio piloto de instalación de 500 sistemas

fotovoltaicos domiciliarios, conectados a la red, con intercambio de energía, en la zona urbana de la ciudad de Lima-Perú, con la finalidad de reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Sostienen que la evolución de generación eléctrica con fuentes de combustibles fósiles, Gas Natural, Diesel 2 y Carbón existentes en el Perú las cuales en el año 2010 alcanzan el aproximado del 40% del total de energía eléctrica que demanda el país, considerando que hace 10 años este porcentaje no llegaba al 10% del total, que las emisiones de CO₂ se han incrementado los últimos 9 años llegando hasta 17.7 mil millones de Toneladas de CO₂ que representa un incremento del 64 % respecto a las emisiones del año 2002. El costo total para un sistema FV de 1.17 kWp asciende a 4240.00 US\$/kWp (IGV incluido), con una generación anual de 1558.44 KW-h y una reducción de emisión de gases por desplazamiento de generación térmica, igual a 0.85247 Ton. de CO₂.

Según Swanson (2009), Define que el autoconsumo fotovoltaico hace referencia a la producción individual de electricidad para el propio consumo, a través de paneles solares fotovoltaicos. Indica que esta práctica puede ser llevada a cabo por individuos, familias, empresas, centros públicos, etc., siempre y cuando la electricidad producida solo la utilicen los mismos. El sistema tecnológico que se utiliza para generar la electricidad es denominado sistema de autoconsumo. Jeremy R. (2012), sostiene que “Debemos transformar las casas en centrales de generación de energía eléctrica para autoconsumo, con recursos renovables”.

Según Energética (2015), Indica que para aprovechar al máximo el autoconsumo fotovoltaico con vertido cero, se requiere gestionar de forma inteligente las cargas. Si no podemos almacenar la energía que producimos, se debe gestionar los equipos consumidores para que así lo hagan. Este sistema tiene detrás un gran desarrollo técnico que hacen fácil que una instalación de autoconsumo eléctrico mediante fotovoltaica, aproveche al máximo su producción e incluso no verter a la Red los excedentes. En España hace tiempo (enero de 2012), y en Portugal recientemente, han desaparecido las primas a la energía fotovoltaica en el sector residencial, por lo que la fotovoltaica ha pasado de ser un instrumento financiero a ser una medida de ahorro

energético. El nuevo salto que empieza es propiciar al autoconsumo residencial la gestión energética de toda la vivienda.

La fotovoltaica es una forma eficaz de protegerse de las continuas subidas de los precios de la electricidad. Para ciertos usuarios en el sector residencial puede ser que su perfil de consumos se adapte muy bien al perfil de generación fotovoltaica, pero en la mayoría de los casos el consumo de una casa no coincide con las horas de generación fotovoltaica. Con este tipo de perfil de consumo es muy difícil sin gestión energética conseguir cuotas de autoconsumo (energía que se aprovecha directamente en el consumo interno sin ser inyectada a la red) altas junto a tasas de autonomía (ahorro energético alcanzado por la instalación fotovoltaica) altas, por lo que si se quiere llegar a cuotas importantes de ahorro e independencia energética se hace necesario instalar un sistema de almacenamiento y/o un sistema de control de cargas.

Según Marcos (2013), indica que la inversión inicial de un sistema fotovoltaico de autoconsumo puede variar, en función de la superficie de la vivienda y de la energía que se vaya a utilizar, pero “esta inversión se recupera a lo largo del tiempo gracias al ahorro que se produce”. También indica que un estudio de La Asociación Valenciana de Empresas del Sector de la Energía (Avaesen), con información de los proyectos realizados por sus asociados sobre instalaciones de autoconsumo, confirma que el ahorro medio que puede obtener una familia es del 70 % sobre la factura de la electricidad. Sostiene que es necesario un reglamento que regule el autoconsumo y el balance neto, es decir la posibilidad de que un consumidor inyecte en la red eléctrica la energía que no consume y que se le descuenta de su factura final. “Esta posibilidad ahorraría todavía más energía a los consumidores, ya que la energía inyectada en la red sería su aportación al resto de usuarios, y su no consumo también se traduciría en una factura más reducida”. Según Energética Futura (2012), indica que el autoconsumo con tecnologías renovables permite aprovechar unos recursos naturales, autóctonos, gratuitos e ilimitados. Con el autoconsumo, el usuario consume la energía que genera en el mismo lugar, sin que sea necesario transportarla a través de las líneas eléctricas. Con una regulación adecuada, y en base a las experiencias internacionales, el autoconsumo permitiría unos ahorros en la factura eléctrica superiores al 70%.

Según Swanson (2009), indica que gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el coste de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales y su coste medio de generación eléctrica ya es competitivo con las fuentes de energía convencionales en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red. El coste de la electricidad solar ha disminuido lo suficiente para alcanzar el momento en el que se realizan instalaciones aunque no se incentive.

Marcelo (2014), un ingeniero argentino, dedicado al desarrollo de sistemas de energías renovables, instaló un sistema de generación de electricidad a través de paneles solares que le permitirá abastecer el consumo de su vivienda y aportar el remanente al tendido de la Empresa Provincial de la Energía (EPE). Se trata del primer caso en Argentina de un particular que fue habilitado para incorporar este novedoso sistema mixto que admite que el usuario sea consumidor y a la vez proveedor de electricidad, un método de alta tecnología muy desarrollado en otros países que se denomina autoconsumo fotovoltaico. Se aplicó a la tarea de gestionar ante la compañía de electricidad provincial el permiso para conectar a la red su flamante esquema generador conformado por paneles solares, un inversor y un medidor especial bidireccional.

A fines del año 2013, la EPE reglamentó el protocolo para poder conectarse a la red con este sistema que tiene como únicos requisitos ser cliente de la compañía y poseer un equipo generador homologado. "En principio, el equipo está previsto para autoabastecimiento, pero en momentos en que el usuario se ausenta de la casa, se va de vacaciones o simplemente consume menos de lo que genera el sistema, inyectará el remanente a la red para que lo utilice otro usuario", "En poco tiempo reduce el consumo en un 40 por ciento", explicó Marcelo. El especialista añadió que en el futuro, la EPE podrá adquirir bajo esta modalidad energía de sus clientes y disminuir la compra a su compañía proveedora. Un sistema FV domiciliario, en la zona central del país (Argentina), de sólo 1,5 kW podría hacer ahorrar unos 2200 kWh anuales.

Según Chavarría (2010), indica que, la definición de las energías renovables se puede entender como aquellas que permiten satisfacer las necesidades energéticas

presentes sin poner en compromiso las necesidades de energía de las generaciones futuras y de los países en desarrollo. Todas estas energías renovables, cuentan actualmente con el apoyo de políticas y decretos que tratan de favorecer y regular su expansión. Muestra de ello se puede encontrar en el Plan de Energías Renovables en España para el periodo 2005 – 2010 y su posterior ampliación para el periodo 2010 – 2020. En una primera estimación, la aportación de las energías renovables para el año 2020 se calcula alrededor del 22.7% del consumo final bruto de energía y un 42.3% de la generación eléctrica.

Según Chavarría (2010), sostiene que el consumo masivo de recursos energéticos de origen fósil, agotables y contaminantes plantea el problema de encontrar nuevas fuentes de energía que sustituyan al carbón, al petróleo, al gas natural y al uranio cuando se agoten los yacimientos actuales y los que se puedan encontrar en el futuro. Las nuevas fuentes de energía deben ser renovables y no contaminantes para evitar los inconvenientes del actual modelo de consumo energético y poder alcanzar el cumplimiento del Protocolo de Kyoto. Además, es interesante que su tecnología permita ubicarlas en cualquier lugar sin necesidad de desarrollar grandes infraestructuras. La mayoría de las energías renovables más utilizadas derivan de forma directa o indirecta de la actividad solar. Se pueden listar a modo de ejemplo: Solar (fotovoltaica y térmica), Eólica, Hidráulica, Biomasa.

Según Jeremy (2012), economista americano y consejero de la Comisión Europea, indica que estamos en un momento de crisis. Estamos pagando la factura de 200 años de una revolución industrial basada en los combustibles fósiles. Hemos emitido demasiado dióxido de carbono, metano y óxido nitroso a la atmósfera y no podemos enfriar suficientemente el calor que produce el sol en nuestro planeta. Lo que vemos es un cambio en la química del planeta Tierra y eso no pasa a menudo. De modo que, no estamos captando la importancia de este momento para nuestra especie. Es una crisis de especies. ¿Podemos superar esta crisis? ¿Podemos controlar el cambio climático? ¿Podemos crear una economía más sostenible? ¿Podemos hacer todo esto con la cuenta atrás en marcha activada? Y ¿podemos cambiarnos a nosotros mismos

en menos de veinticinco años? Son unas cuestiones bastante importantes”. En su publicación “La Tercera Revolución Industrial”, Jeremy sostiene que únicamente las energías renovables y el “poder lateral” pueden sacarnos de la crisis y garantizar un futuro mejor a nuestras próximas generaciones.

Según Energética (2012), indica que, El autoconsumo con sistemas fotovoltaicos contribuye decididamente contra el calentamiento global del planeta. Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero CO₂ (Dióxido de carbono), SO₂ (Dióxido de azufre) y NO_x (óxidos de Nitrógeno). No genera residuos y se trata de una herramienta básica para reducir la huella de carbono. Una instalación de 1,5 kilovatios renovables evita la misma emisión de CO₂ que absorbe un bosque con 135 árboles.

Según Beltran, Tinajeros & Morante (2016), indican que realizaron el análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a red para exportar toda la energía generada hacia ella (sin autoconsumo) de 3,3 kW, instalado en la escuela profesional de Física de la Universidad Nacional de San Agustín, ubicado en latitud 16.2°S y longitud 71.3°O. Este análisis permite verificar si la instalación proyectada en el tiempo será suficientemente rentable. Se utiliza la eficiencia del panel fotovoltaico para evaluar el rendimiento del SFcR, la energía generada y los flujos de caja. Se identificó que el costo del sistema fotovoltaico, precio de la energía y ayuda financiera, es crucial para la viabilidad económica del proyecto, además de condiciones climatológicas favorables. Los resultados obtenidos muestran la viabilidad económica del SFcR en Arequipa. La tasa interna de retorno (TIR) del proyecto es 10,7%, sin deducción de impuestos, créditos fiscales y subsidios. El valor actual neto (VAN) tiene un valor de 10.708 US\$. Los flujos de caja empiezan a ser positivos a los 11,6 años. No es atractivo invertir cuando la tasa de descuento supere el 8%. El costo del sistema fotovoltaico es 3257.82 US\$/kWp. El costo de la energía producida es 0,10 US\$/kWh, comparado con el costo de electricidad del sector residencial de 0,154 US\$/kWh.

La fundamentación científica de la investigación estuvo basada en la tecnología de los Sistemas fotovoltaicos para autoconsumo, la cual viene desarrollándose aceleradamente, abaratando costos, permitiendo su masificación, como está ocurriendo en otros países.

La investigación se justifica científicamente, porque buscó conocimientos selectivos y sistematizados para explicar racionalmente los procesos de elaboración de una propuesta de generación de electricidad mediante paneles solares, para el autoconsumo domiciliario en el sector urbano de Chimbote y disminuir el pago mensual por consumo de electricidad de la red pública.

Asimismo, la investigación se justifica metodológicamente porque buscó desarrollar métodos tecnológicos y sistematizados para obtener resultados válidos y confiables de los procesos de implementación del equipamiento necesario para establecer un Sistema de paneles solares para autoconsumo domiciliario.

Finalmente, la investigación se justifica de manera práctica, porque buscó dar una mejora en la cobertura de la demanda de energía eléctrica en las viviendas, desarrollando un Suministro alternativo de energía eléctrica mediante paneles solares, para autoconsumo domiciliario en el sector urbano de Chimbote.

Es bajo este contexto que se planteó la interrogante: ¿Cuál es el sistema alternativo de generación eléctrica mediante paneles solares, para autoconsumo en las viviendas del sector urbano de Chimbote, que permitirá reducir el pago por consumo de energía eléctrica de la red pública, la conservación del medio ambiente y la viabilidad económica de la inversión?

La conceptualización de las variables se presenta en el orden de la formulación del problema:

Sistema Fotovoltaico: Los factores a considerar son: El consumo de energía eléctrica diaria promedio de una vivienda (kWh), irradiación solar diaria promedio (kWh/m²). El consumo promedio se obtuvo tomando una muestra de recibos del pago de consumo mensual, que suministra la empresa de electricidad local, y la irradiación solar se obtuvo de una base de datos altamente confiable (Empresa mundial Meteonorm). Con

estos datos se determinan las características técnicas del Sistema fotovoltaico: Paneles solares, Inversor híbrido, Batería, Analizador de red antivertido.

En el presente estudio se está considerando un Sistema Fotovoltaico conectado a la Red Pública, pero sin vertimiento (inyección cero); Es decir, sin inyección de potencia hacia la red, debido a que esto aún no está reglamentado en el Perú.

El gobierno, con fecha 24 de septiembre de 2015, emitió el Decreto Legislativo No. 1221, que mejora la regulación de la distribución de electricidad. Este decreto incluye en su artículo 2 'Generación Distribuida', que 'los usuarios del servicio público de electricidad que disponen de equipamiento de generación eléctrica renovable no convencional o de cogeneración, hasta la potencia máxima establecida para cada tecnología, tienen derecho a disponer de ellos para su propio consumo o pueden inyectar sus excedentes al sistema de distribución, sujeto a que no afecte la seguridad operacional del sistema de distribución al cual está conectado'.

Hasta ahora no se ha publicado el reglamento del D.L. indicado, por lo que se puede implementar sistemas de Autoconsumo con generación fotovoltaica, pero sin entregar energía a la Red pública. Este tipo de instalaciones solares permite, en muchos países, la asimilación del sistema fotovoltaico en viviendas y edificios como parte inherente de su red eléctrica interior, convirtiéndose en un elemento de ahorro energético y no como una central de generación de energía que requiera ciertas capacidades de evacuación a la red a la que se halla conectada; Es decir, como si se tratara de un artefacto electrodoméstico que en vez de consumir, ahorra energía.

Definiciones:

Energía Solar: Energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que consiste en la radiación electromagnética proveniente del sol.

Radiación Solar: Radiación emitida por el sol. De toda la radiación procedente del Sol, sólo una ínfima parte llega hasta la superficie de la Tierra. En la atmósfera más externa a la Tierra nos podemos encontrar con radiaciones de 1400 W/m², de los cuales, unos 1000 W/m² son las que llegan a nuestra superficie, en un día claro y sin perturbaciones

meteorológicas. En el caso de un día nublado podemos encontrar esta radiación significativamente mermada, pudiendo llegar a 500 W/m^2 .

Irradiancia: Es la magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra, mide la energía radiante por unidad de tiempo, es decir potencia, que incide sobre una superficie dada y se mide en W/m^2 .

Radiación o irradiación: Es la energía incidente, en un periodo de tiempo determinado sobre una superficie dada. Se obtiene como la integración de la Irradiancia en ese periodo y se mide en Wh/m^2 . En algunos textos se refieren al término Irradiación como Insolación.

Horas Solares Pico (HSP): Es una unidad que mide la irradiación solar y se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 .

Energía fotovoltaica: La conversión directa de la energía solar en energía eléctrica se debe al fenómeno físico de la interacción de la radiación luminosa con los electrones en los materiales semiconductores, fenómeno conocido como efecto fotovoltaico, este fenómeno tiene lugar en la célula solar.

Célula fotovoltaica: La conversión de la radiación solar en una corriente eléctrica tiene lugar en la célula fotovoltaica.

Módulo o panel fotovoltaico: Un panel fotovoltaico es un conjunto interconectado de células solares y es el componente básico de un sistema fotovoltaico. De acuerdo con la tecnología utilizada en las células solares, los paneles fotovoltaicos están clasificados como monocristalinos, policristalinos y paneles solares amorfos, y estos últimos también se conocen como paneles de película delgada (Thin film) o capa fina.

Potencia Pico (W_p): potencia eléctrica suministrada por el módulo en condiciones estándar STC.

Standard Test Condition (STC): Condiciones estándar de medida para el análisis del comportamiento de los paneles solares a una radiación de 1.000 W/m^2 (incidencia normal), distribución espectral AM 1.5 y temperatura de la célula a 25°C .

Corriente nominal (A): corriente suministrada por el módulo en el punto de trabajo.

Tensión nominal (V): tensión de trabajo del módulo.

Eficiencia del panel: Es la relación entre la potencia eléctrica entregada por el panel solar y la potencia de la radiación que incide sobre él. La eficiencia de un panel

fotovoltaico es generalmente medido en condiciones standard de ensayo (Standard Test Conditions o STC).

Nominal Operation Cell Temperature (NOCT): Temperatura de operación nominal de las células: radiación de 800 W/m^2 (incidencia normal), distribución espectral AM 1.5, temperatura ambiente de 20°C y velocidad del viento de 1 m/s .

Generador fotovoltaico: Está formado por el conjunto de los módulos fotovoltaicos, adecuadamente conectados en serie y en paralelo, con la combinación adecuada para obtener la corriente y el voltaje necesarios para una determinada aplicación. El elemento base es el módulo fotovoltaico.

Sistema fotovoltaico: Es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que captan y transforman la energía solar disponible, en energía eléctrica utilizable.

Performance Ratio: La eficiencia relativa del sistema es una medida que considera las pérdidas del sistema contabilizadas en comparación con la energía nominal del sistema. La energía nominal es calculada a partir de la irradiación de la superficie inclinada del módulo FV multiplicada por la eficiencia bajo condiciones estándares de medida.

Productividad Anual: es un valor de evaluación que da el rendimiento anual normalizado en función de la potencia instalada. En otras palabras, la productividad anual corresponde a las horas de funcionamiento del sistema a potencia nominal.

Los paneles solares mas utilizados son:

Monocristalinos: son paneles compuestos de células que se han creado a partir de un solo cristal de silicio monocristalino, por lo que son los de mayor pureza. Las células o celdas son de color negro (azul muy oscuro) y los bordes están recortados como con una especie de chaflán. Su eficiencia es de 20% aproximadamente.

Policristalinos: los paneles policristalinos están compuestos por células policristalinas que podemos diferenciar por su color "azul" y no poseen ese chaflán en las esquinas como los monocristalinos, sino que son perfectamente cuadradas. Su eficiencia es de 17% aproximadamente.

Los paneles Monocristalinos son más eficientes pero su precio es más elevado.

Inversor Híbrido: Es un equipo multifunción de suma importancia en un sistema fotovoltaico conectado a red. Está equipado con regulador de carga solar MPPT (seguimiento del punto de máxima potencia) para maximizar y regular la potencia de Corriente Continua de los paneles solares, para el consumo y/o carga de baterías. Convierte la corriente continua de los paneles solares y de la batería en corriente alterna de onda sinusoidal pura, y es especialmente apto para arrancar cargas de tipo motor, tales como refrigeradores, motores, bombas, compresores y las impresoras láser, así como las cargas electrónicas como televisores, computadoras, herramientas eléctricas y cargadores de baterías. Gestiona de manera óptima la energía de las baterías, solar y red, dando preferencia a la energía de los paneles solares o de las baterías y como último recurso usará la energía de la red eléctrica. En coordinación con el analizador de red antivertido, impide la exportación o inyección de potencia hacia la red pública. A este inversor híbrido también se le da el nombre de todo-en-uno, lo que nos permite un menor costo de inversión.

Batería: Es un dispositivo que almacena la energía proveniente del arreglo de paneles solares, permitiendo una mayor autonomía de suministro propio, minimizando la energía consumida de la red de la empresa de electricidad local. Debido al uso continuo de la batería no es conveniente usar baterías convencionales (plomo-ácido) de baja capacidad (Ah), pocos ciclos de carga/descarga, requerimiento permanente de mantenimiento, no aptas para soportar picos de carga, aunque estas sean de bajo precio, ya que se tendrían que estar cambiando en menos de un año. Es por esto que para sistemas fotovoltaicos de autoconsumo conectados a red, se requiere de baterías de iones de Litio, las cuales soportan muy bien los picos de arranque de los electrodomésticos, bombas, motores, y su gran capacidad destaca sobre el resto de baterías del mercado, están diseñadas para uso residencial con máxima seguridad, sencilla instalación y nulo mantenimiento, con garantía de 10 años y 10,000 ciclos de carga/descarga. Su precio es todavía elevado, pero se justifica, ya que para sistemas de autoconsumo como el del presente estudio, se requiere de una sola batería.

Analizador de red antivertido (No inyección): Este accesorio es imprescindible porque es el que va a impedir que se inyecte potencia a la red pública, mediante la configuración del inversor fotovoltaico en “modo autoconsumo”, directamente desde el display de usuario. Bajo esta configuración, el inversor analiza el flujo de potencia en el punto de acometida de la instalación, de manera que: El inversor produce sólo la energía que demandan las cargas, evitando así la inyección de excedentes a la red pública. Para garantizar la “no inyección”, se asegura una corriente mínima desde la red hacia las cargas. Si la producción fotovoltaica es insuficiente, la red aportará la energía necesaria para satisfacer la demanda.

El indicador de la variable sistema fotovoltaico es SF y la unidad de medida es S/. / kWp

Para la conceptualización de la variable **Autoconsumo**, se tendrá en cuenta que la definición de Autoconsumo, es la generación de energía eléctrica con Recursos Energéticos Renovables (Energía Solar) dentro de una vivienda, para disminuir parcial o totalmente el consumo de energía suministrado por la empresa de electricidad local (Red pública); Es decir, la instalación de un Sistema Fotovoltaico conectado a Red (SFcR). La aplicación de esta tecnología va orientada a las viviendas que cuentan con suministro eléctrico de una empresa de electricidad, y por lo tanto el modo de operación difiere de la electrificación rural con paneles solares, que operan en forma aislada, sin conexión a red. En el presente estudio se consideraron dos alternativas de autoconsumo sin inyección a la red:

Autoconsumo Directo: Es el consumo instantáneo de la generación de los paneles solares durante el día (horas de sol), cubriendo toda la carga o demanda de potencia (kW) de la vivienda, sin consumir energía de la red. Durante la noche se cubre toda la demanda con suministro de la red. Esta alternativa no considera batería para almacenar los excedentes de energía eléctrica de los paneles solares durante el día. Para no tener mayores desperdicios de excedentes, la potencia de los paneles solares (kWp) debe ser aproximadamente igual a la potencia del diagrama de carga de la vivienda.

Autoconsumo con Almacenamiento: Durante el día en horas de sol la generación de los paneles solares cubre toda la demanda de la vivienda y a la vez carga la Batería,

sin consumo de la red. En horas nocturnas, se utiliza la energía almacenada de la batería para contribuir en las horas de máxima demanda (18:30-22:30) y el resto de la noche. El costo de esta alternativa es mayor por el precio de la batería, y mayor cantidad de paneles, necesarios para el almacenamiento de energía.

El indicador de la variable autoconsumo es AC y la unidad de medida es S/. / kWh

Para la conceptualización de la variable **reducción de pago**, se tiene en cuenta que, la energía (kWh) que se produce con el sistema de autoconsumo, es la que se deja de consumir de la red (ahorro energético), multiplicando esta energía por el valor de la tarifa BT5B Residencial (S/. / kWh) de la empresa de electricidad, se obtiene el ahorro económico mensual y anual. En los Países que utilizan SFcR de autoconsumo, como en el caso de España, se obtiene un ahorro de 40% - 70%. En el presente estudio, se determinó el ahorro para los sistemas de autoconsumo directo y con almacenamiento. El indicador de la variable reducción de pago es RP y la unidad de medida es % de ahorro.

Respecto a la variable **conservación del medio ambiente**, se conceptúa, que al generar energía limpia, no contaminante con sistemas fotovoltaicos, se está desplazando la energía que generan las centrales termoeléctricas en base a combustibles fósiles como el petróleo diesel y el gas natural, que contaminan el medio ambiente con fuertes emisiones de gas de efecto invernadero. Se cuantifica el ahorro equivalente de toneladas de petróleo (TOE) y las toneladas de dióxido de carbono (CO₂) que se deja de emitir, durante el periodo de vida útil del sistema (25 años). El indicador de la variable conservación del medio ambiente es CMA y las unidades de medida son TOE y Ton CO₂.

Para la conceptualización de la variable **Viabilidad económica**, se considera el costo total de la inversión (equipos + instalación), el ahorro anual para 25 años de vida útil del sistema fotovoltaico (incremento de la tarifa eléctrica del 9% anual) y una Tasa de descuento de 4%. Para que la inversión sea rentable, el número de años necesarios para compensar la inversión mediante flujos de efectivo positivos, debe ser menor de la mitad de los años de vida útil del sistema. El valor actual neto (VAN) de los flujos de

efectivo de series temporales, tanto entrantes como salientes y considerando una expectativa de vida de 25 años, debe ser mayor o igual al costo de la inversión. La Tasa Interna de Retorno (TIR), utilizada como un índice para medir y comparar la rentabilidad de la inversión, considerando una expectativa de vida de la instalación de 25 años, debe ser mayor a la Tasa de descuento. El indicador de la variable viabilidad económica es VE y las unidades de medida son Años, VAN y TIR.

Con toda la información presentada se propuso la siguiente hipótesis: El sistema alternativo de generación eléctrica mediante paneles solares, para autoconsumo en las viviendas del sector urbano de Chimbote, reduce el pago por consumo de energía eléctrica de la red pública, conserva el medio ambiente, y es viable económicamente.

Para ello se propuso el Objetivo General Determinar el sistema alternativo de generación eléctrica mediante paneles solares, para autoconsumo en las viviendas del sector urbano de Chimbote, reducir el pago por consumo de energía eléctrica de la red pública, conservar el medio ambiente, y determinar la viabilidad económica de la inversión.

Los Objetivos específicos fueron Determinar el Sistema Fotovoltaico conectado a red (SFcR) sin inyección. Determinar el costo de producción de energía del SFcR de autoconsumo. Determinar la reducción de pago con un SFcR de autoconsumo. Determinar la disminución de gases de efecto invernadero. Determinar la viabilidad económica (rentabilidad) de la inversión.

MATERIAL Y METODOS

TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación de acuerdo a la orientación (u objetivo que persigue), fue investigativa de tipo tecnológico, teniendo en cuenta que fue necesaria la recolección de información relacionada con desarrollar una propuesta de generación de energía eléctrica mediante paneles solares, para autoconsumo en las viviendas del sector

urbano de la ciudad de Chimbote. Una investigación tecnológica es la que produce un bien, un servicio o un proceso.

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Respecto al diseño de la investigación fue propositiva, de innovación incremental, porque se desarrolló una aplicación a un proceso existente, y lo que se deseó es aprovechar el proceso con equipos al alcance de los usuarios, que cuentan con suministro de energía eléctrica de la red pública. Respecto al alcance temporal fue una investigación sincrónica porque se realizó el estudio en un periodo corto de tiempo. La investigación, respecto al tiempo del dato, fue un estudio circunspectivo que analizó los factores que se presentan en el análisis del Suministro de energía fotovoltaica para autoconsumo domiciliario en el sector urbano de Chimbote; y podríamos indicar que también fue un estudio circunspectivo – prospectivo, porque se necesitó opiniones de expertos e involucrados en el desarrollo de tecnología de autoconsumo con sistemas fotovoltaicos.

POBLACIÓN – MUESTRA

Debido a que la investigación fue de tipo tecnológica, la población para el desarrollo de la implementación de Sistemas Fotovoltaicos de autoconsumo estuvo conformada por las viviendas del sector urbano de Chimbote. La empresa concesionaria de servicio público de electricidad HIDRANDINA S.A. considera un conjunto de tarifas eléctricas para el suministro en Baja Tensión (220 V.), en función a la energía eléctrica (kWh) mensual que consume el usuario (Ver anexos 2 y 3). Para el presente estudio, se consideró la tarifa BT5BR (151 a 300 kWh), con la cual se alimentan 3,000 usuarios aproximadamente, del sector urbano de Chimbote.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Los instrumentos fueron: El consumo de energía eléctrica diaria promedio de una vivienda (kWh), irradiación solar diaria promedio (kWh/m²). El consumo promedio se obtuvo tomando una muestra de recibos del pago de consumo mensual, que suministra la empresa de electricidad local, y la irradiación solar se obtuvo de una base de datos altamente confiable (Empresa mundial Meteonorm). Con estos datos se

determinaron las características técnicas del Sistema fotovoltaico: Paneles solares, Inversor híbrido, Batería, Analizador de red antivertido.

PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el procesamiento y análisis de la información se utilizó la hoja de cálculo Excel, estableciendo una metodología o proceso de cálculo secuencial, para determinar los resultados de los objetivos específicos o variables en el siguiente orden: Sistema fotovoltaico (V1), Autoconsumo V2), Reducción de pago (V3), Conservación del medio ambiente (V4) y Viabilidad económica (V5).

RESULTADOS

3.1 Determinar el Sistema Fotovoltaico conectado a red (SFcR) sin inyección

Disponibilidad de fuente de energía solar en Chimbote. Promedio de radiación solar diaria por mes en el plano horizontal

Ciudad : Chimbote

Latitud [°] : 9°.0853 S

Longitud [°] : 78°.5781 O

Altitud [m] : 10

Irradiación anual [kWh/m²] : 2178.32

Temperatura promedio : máx (27.6°C); min (13.1°C)

Tabla 1. Irradiación diaria media mensual [kWh/m²]

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
6.86	7.03	6.69	6.35	5.69	4.82	4.51	4.81	5.81	6.01	6.27	6.85

Fuente Datos: Meteonorm 7.1

La Empresa Meteonorm genera datos de irradiación para cualquier lugar en la tierra, precisos y representativos. La base de datos consta de más de 8 000 estaciones meteorológicas, cinco satélites geoestacionarios y una climatología de aerosol calibrada a nivel mundial. Sobre esta base, los sofisticados modelos de interpolación, basados en más de 30 años de experiencia, brindan resultados con alta precisión en todo el mundo.

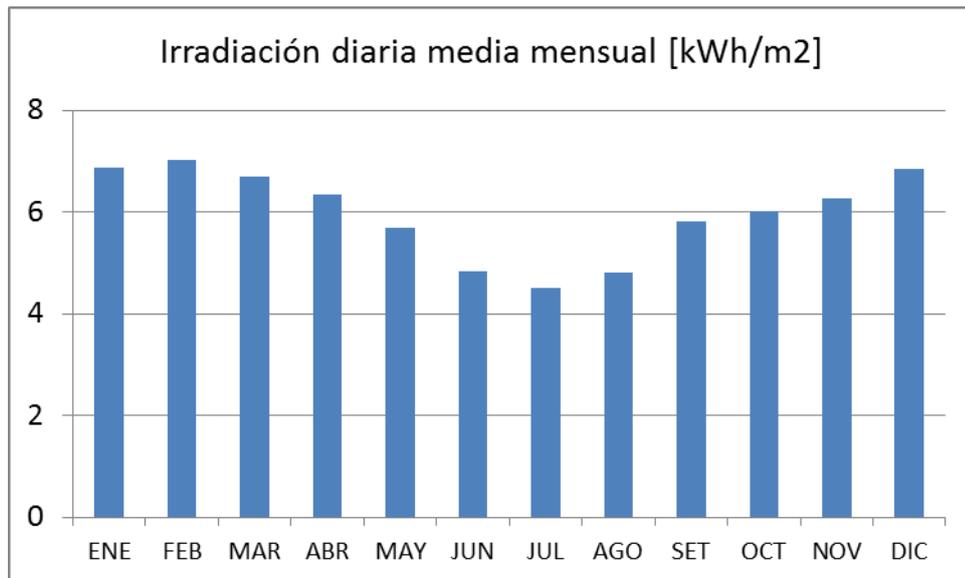


Fig. 1. Irradiación diaria media mensual sobre el plano horizontal [kWh/m²]

Como podemos observar, la radiación diaria mínima se presenta en el mes de Julio cuyo valor es de 4.51 kWh/m². Este valor se consideró para el cálculo de la potencia y número de paneles solares, por ser la condición más desfavorable.

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana N.T.E. EM.080 INSTALACIONES CON ENERGIA SOLAR, los paneles fotovoltaicos estacionarios deben estar orientados hacia el norte y mantener un ángulo de inclinación equivalente a la latitud del lugar de instalación más 10 grados; Por lo tanto, en el proyecto se consideró la instalación de los paneles en soportes con ángulo fijo sin movimiento, con una inclinación de 19° orientados hacia el Norte, para nivelar fluctuaciones estacionales de la Radiación Solar (Fig. 2); esta inclinación también es conveniente para evitar la acumulación de polvo y agua en caso de lluvias. Se aprovechará al máximo las características del terreno disponible como taludes orientados al norte, si los hubiera.

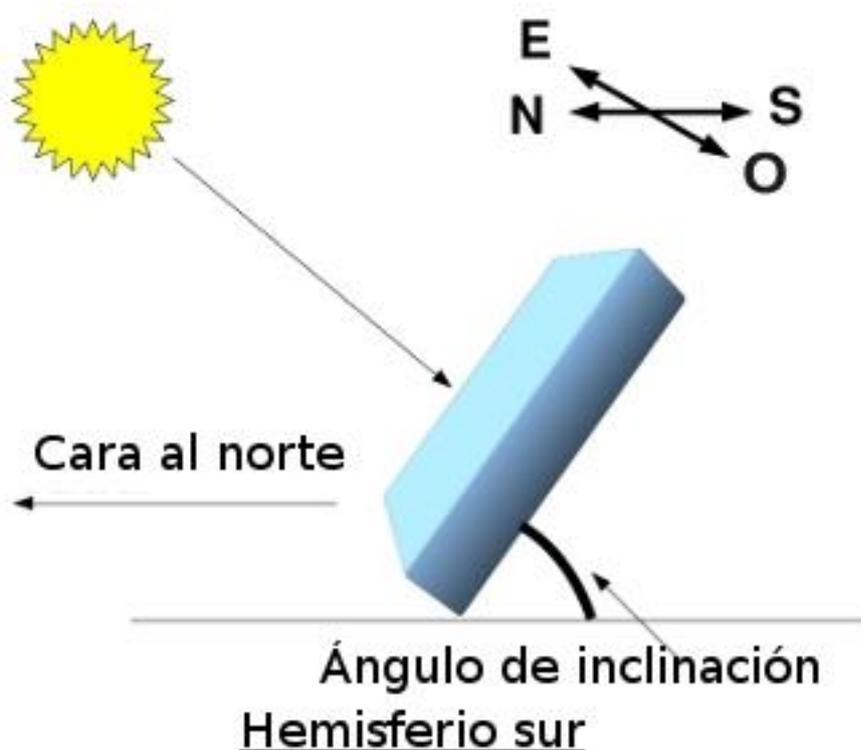


Fig. 2. Angulo de inclinación de panel solar orientado hacia el Norte

Consumo de Energía diario de una vivienda típica del sector residencial de Chimbote.

Para este objetivo se tomó una muestra de recibos del pago de Energía eléctrica mensual, de viviendas cuyo contrato con la concesionaria HIDRANDINA S.A. corresponde a la tarifa BT5B del sector residencial (Ver muestra en anexo 1), por ser el sector más representativo hacia quien va orientado el presente estudio.

Tabla 2. Datos de consumo de Energía (kWh) de viviendas de Chimbote

Mes	Código	Localidad	Tarifa	Pot. Contrat. (kW)	Costo Tarifa (S./kWh)	Consumo (kWh)	Pago Mes (S./)	
Enero	49267740	Chimbote	BT5B-Resid	1.00	0.5683	331.00	188.11	
Febrero	48979154	Chimbote	BT5B-Resid	1.00	0.5671	107.00	60.68	
Marzo	48788920	Chimbote	BT5B-Resid	1.00	0.5664	203.00	114.98	
Abril	49056843	Chimbote	BT5B-Resid	1.00	0.5654	121.00	68.41	
Mayo	49039092	Chimbote	BT5B-Resid	1.00	0.5400	272.00	146.88	
Junio	48807820	Chimbote	BT5B-Resid	1.00	0.5328	286.00	152.38	
Julio	61562713	Chimbote	BT5B-Resid	1.00	0.5353	101.00	54.07	
Agosto	49399220	Chimbote	BT5B-Resid	1.00	0.5885	240.00	141.24	
Setiembre	48788920	Chimbote	BT5B-Resid	1.00	0.5452	217.00	118.31	
Octubre	48788920	Chimbote	BT5B-Resid	1.00	0.5485	234.00	128.35	
Noviembre	49313664	Chimbote	BT5B-Resid	1.00	0.5911	172.00	101.67	
Diciembre	49313664	Chimbote	BT5B-Resid	1.00	0.5911	172.00	101.67	
						media	204.67	114.73
						mediana	210.00	116.64
						moda	172.00	101.67
						Varianza	4899.39	1485.38
						Desv.Stand	70.00	38.54

Se selecciona la vivienda de código 48788920 por ser la más representativa con un consumo casi igual al promedio mensual del año 2016. En base a los recibos de consumo de energía mensual del año 2016 de esta vivienda, se muestran los siguientes resultados:

Tabla 3. Consumo de energía mensual (kWh) - Año 2016

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
220	203	203	201	234	213	224	219	217	234	201	214	2583

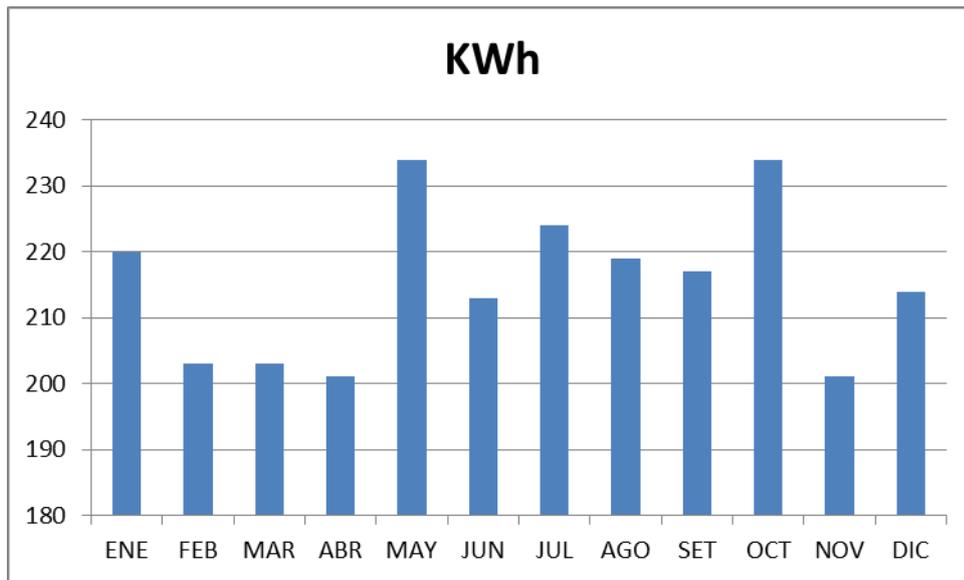


Fig. 3. Consumo de Energía mensual

En la Tabla 3 se aprecia que el mayor consumo mensual es de 234 kWh, por lo que se toma este valor para determinar el consumo de energía diario promedio, resultando un valor de 7.55 kWh, el cual se distribuye en las 24 horas del día, aplicando el criterio del diagrama de carga típico de una vivienda del sector residencial.

Tabla 4. Consumo horario de Energía (kWh) de un día típico - Año 2016

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.20	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.35	0.40	0.40
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Tot. KWh		
0.35	0.25	0.25	0.25	0.30	0.60	0.70	0.70	0.60	0.25	0.20	7.55		

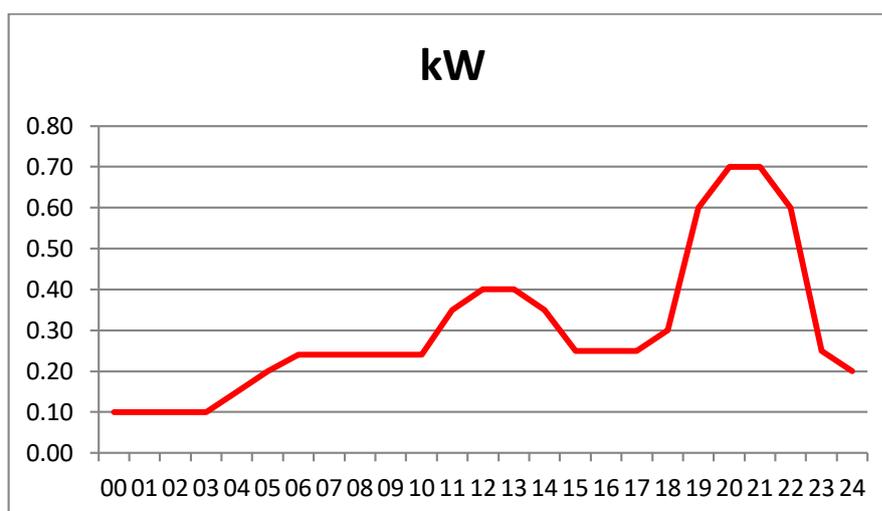


Fig. 4. Diagrama de carga diario típico vivienda sector residencial-Chimbote

En base al Diagrama de carga de la Fig.4 procedemos a considerar las alternativas de autoconsumo de Energía con paneles (módulos) solares manteniendo la conexión con la Red pública, pero sin inyección (vertido) de potencia hacia ella, debido a que en el Perú aún no se ha reglamentado el intercambio de Energía entre la generación de un sistema fotovoltaico de autoconsumo y la Red.

Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo Directo

Para esta alternativa necesitamos cuantificar la energía que debe generar el arreglo de paneles para el autoconsumo instantáneo o Directo sin Batería de almacenamiento. Esto significa que los paneles deben cubrir la demanda del diagrama de carga durante el día en horas de sol, y de acuerdo a ello ser dimensionados.

En la Tabla 5 se muestra la energía requerida durante el día de 08 a 18 horas que será cubierta con autoconsumo. En las horas nocturnas el consumo de energía será adquirida de la Red pública.

Tabla 5. Autoconsumo Directo diario de 08-18 horas

Horas	00	01	02	03	04	05	06	07
Ene. Autoconsumo								
Ene. Adquirida	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.20	0.24	0.24

Horas	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ene. Autoconsumo	0.24	0.24	0.24	0.35	0.40	0.40	0.35	0.25	0.25	0.25	0.30
Ene. Adquirida											

Horas	19	20	21	22	23	24	Tot. KWh	%
Ene. Autoconsumo							3.27	43.31%
Ene. Adquirida	0.60	0.70	0.70	0.60	0.25	0.20	4.28	56.69%
							7.55	100.00%

En la tabla 5 se observa que con el sistema de autoconsumo directo se cubrirá el 43.31% de la energía diaria. El 56.69% se adquiere de la Red pública.

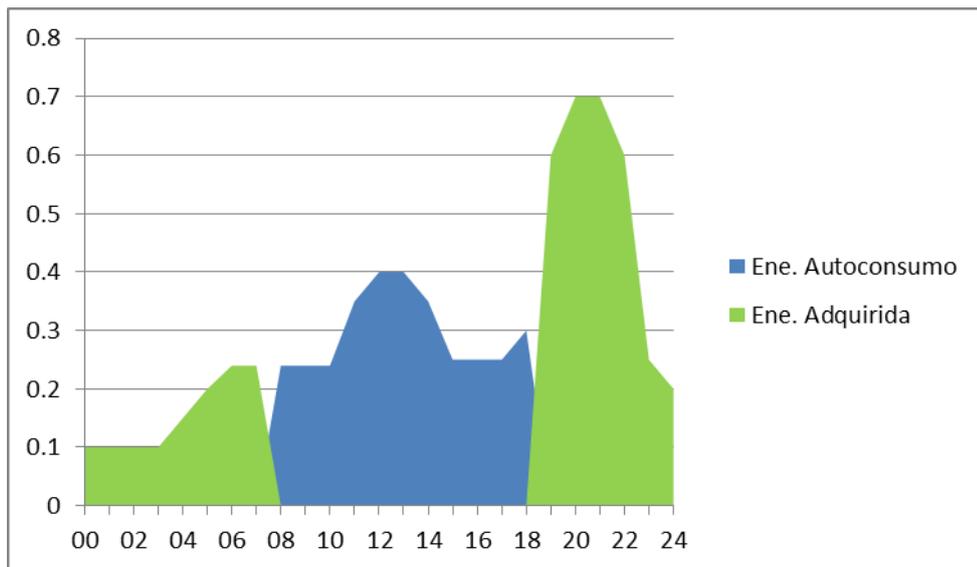


Fig.5. Diagrama de carga diario con autoconsumo directo (kWh)

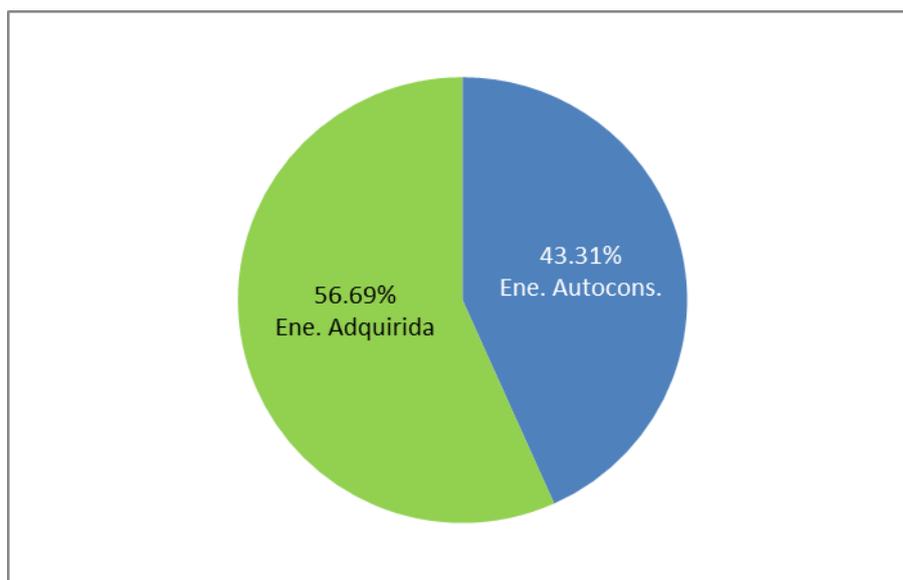


Fig.6. Porcentaje de energía cubierto por Autoconsumo directo

Componentes del Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo Directo

Módulos Fotovoltaicos

Para el cálculo de la potencia pico de los paneles solares (Wp), tomamos como dato inicial la Energía anual consumida el año 2016 igual a 2583 kWh (ver Tabla 6); A este valor se le aplica el 43.31% que se consideró de la cobertura del diagrama de carga (ver Tabla 5), obteniendo un valor de 1118.75 kWh, el cual corresponde al año 1 para la proyección de la demanda hasta el año 25 (Tasa de crecimiento del 1% anual), ya que se considera 25 años de vida útil de la instalación. Asimismo se considera una pérdida de eficiencia anual de la instalación de 0.5%, Los resultados se muestran en la Tabla 7

Tabla 6. Autoconsumo Directo del Año 1 (kWh)

	TOT. kWh	%
Demanda de Energía	2583.00	100.00%
Energía autoconsumo directo	1118.75	43.31%
Energía adquirida de la Red	1464.25	56.69%

Tabla 7. Energía disponible en paneles y de Autoconsumo (kWh)

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Energía disponible en paneles	1601.15	1593.19	1585.26	1577.37	1569.53	1561.72	1553.95	1546.22	1538.52
Energía Total de autoconsumo	1118.75	1129.94	1141.24	1152.65	1164.18	1175.82	1187.58	1199.45	1211.45

Año	10	11	12	13	14	15	16	17
Energía disponible en paneles	1530.87	1523.25	1515.68	1508.13	1500.63	1493.17	1485.74	1478.35
Energía Total de autoconsumo	1223.56	1235.80	1248.15	1260.64	1273.24	1285.97	1298.83	1311.82

Año	18	19	20	21	22	23	24	25
Energía disponible en paneles	1470.99	1463.67	1456.39	1449.14	1441.93	1434.76	1427.62	1420.52
Energía Total de autoconsumo	1324.94	1338.19	1351.57	1365.09	1378.74	1392.53	1406.45	1420.52

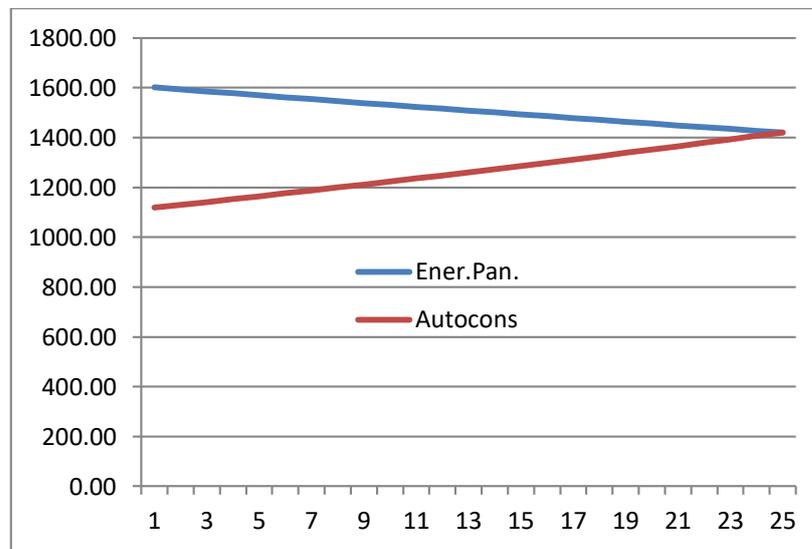


Fig.7. Energía disponible en paneles Vs. Autoconsumo (kWh)

Energía de autoconsumo año 1 = 1118.75 kWh

Energía de autoconsumo diaria año 1 = 3.27 kWh

Energía requerida para calcular la potencia de los paneles = 1601.15 kWh

Energía diaria requerida para el cálculo de los paneles = $1601.15 \times 3.27 / 1118.75$

$$= 4.68 \text{ kWh}$$

Potencia total del arreglo de paneles: Pt

$$Pt = Pp \times Ed / (Rs \times epanel)$$

Pp : potencia proporcional del panel [Wp/m²]

La irradiancia solar nominal incidente sobre la tierra es de 1000 W/m². Los paneles que consideramos para ésta alternativa son de una eficiencia de 16.5%, por lo que la potencia proporcional del panel es:

$$P_p = 16.5\% \times 1000 = 165 \text{ W/m}^2$$

$$E_d : \text{Energía diaria requerida} = 4.68 \text{ kWh}$$

$$R_s : \text{Radiación solar} = 4.51 \text{ kWh/m}^2 \text{ (valor mínimo)}$$

$$e_{\text{panel}} : \text{eficiencia del panel} = 16.5\%$$

$$P_t = 165 \times 4.68 / (4.51 \times 16.5\%)$$

$$P_t = 1037.69 \text{ Wp}$$

Considerando paneles de 270 Wp, se tiene:

$$\text{Número de paneles} = 1037.69 / 270 = 3.8 \approx 4$$

El arreglo de los paneles será de conexión serie-paralelo; es decir, dos ramas con dos paneles en serie cada una y estas a su vez conectadas en paralelo (ver anexo 5).

Los paneles que se consideran son de las siguientes características:

Tabla 8. Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico

Módulo Fotovoltaico	Valor
Tipo	Policristalino
Potencia máxima nominal (P _{max})	270 Wp
Número de celdas	60
eficiencia	16.50%
Voltaje de operación (V _{mp})	30.8 Vdc
Corriente de operación (I _{mp})	8.75 A
Voltaje de circuito abierto (V _{oc})	37.9 Vdc
Corriente de corto circuito (I _{sc})	9.32 A
NOCT (Temp. de Operación Nominal del módulo)	43°C
Tamaño	165.0x99.2x4.0 cm
Peso (neto):	18.2 kg

Inversor

El inversor considerado es un inversor híbrido (todo en uno), que realiza las funciones de inversor, regulador y cargador. Está equipado con regulador de carga solar MPPT, que permite obtener la máxima potencia del generador fotovoltaico, mediante el seguimiento del punto de máxima potencia, regulando la potencia de los paneles solares, de acuerdo al consumo de la vivienda y a la carga de la batería. Gestiona de manera óptima y eficiente la energía de las 3 fuentes (solar, batería, red). Si bien es cierto en esta alternativa no hay batería de almacenamiento, en el momento que el usuario disponga de mayores recursos económicos, podrá implementar su instalación con una batería para no desperdiciar los excedentes de generación de los paneles solares e incrementar su beneficio económico al reducir la energía adquirida de la Red.

Tabla 9. Especificaciones técnicas del Inversor

Inversor Híbrido (Todo en uno)	Valor
Potencia máxima de entrada DC	3000 W
Tensión MPP para potencia nominal	55 - 115 Vdc
Tensión máxima de circuito abierto	145 Vdc
Potencia máxima de salida AC	6000 VA (10 seg.)
Potencia nominal AC	3000VA / 2400W
Tensión nominal de red AC (onda sinusoidal pura)	230 V \pm 5%
Frecuencia de red	50/60 Hz (auto detección)
Protección	Sobrecarga, Temperatura, Corto circuitos.
Fusible rearmable	en salida 230VAC
Medidas	140 x 295 x 479mm,
peso	11.5 kg
Eficiencia	>98%

Analizador de Red antivertido

El analizador de red antivertido se instala en el punto de acometida de la instalación domiciliaria, después del medidor de la Empresa concesionaria de electricidad. Su función es no permitir la inyección o vertido de potencia hacia

la red pública, configurándose para que el inversor produzca solo la energía necesaria que demandan las cargas de la vivienda.

Costo Total del SFcR de autoconsumo Directo

Tabla 10. Costo de materiales y mano de obra

Item	Precio (S/.)	Cantidad	Importe (S/.)	%
Equipos			7327.52	91.28%
Panel Fotovoltaico de 270 Wp	636.90	4	2547.60	31.74%
Inversor/Cargador/Regulador híbrido	2663.40	1	2663.40	33.18%
Analizador de Red antivertido monofásico	1505.40	1	1505.40	18.75%
Int sec. DC 63A, 200Vcc	98.16	1	98.16	1.22%
Int. termomagnético 230Vca, 16A, 6kA	91.44	1	91.44	1.14%
Int. diferencial 230Vca, 6KA, 30mA, 25A	121.51	1	121.51	1.51%
Sistema puesta a tierra, cables	300.00	1	300.00	3.74%
Estructura de Soporte				
Perfil principal, fijadores, sujeción	488.00	1	400.00	4.98%
Mano de obra				
Instalación, transporte al sitio	300.00	1	300.00	3.74%
Total			S/. 8,027.52	100.00%

Tipo de Cambio: 1\$US=S/.3,27 1€=S/.3,86

Tabla 11. Costo de ejecución por contrata

Costo de materiales y mano de obra	8027.52
Beneficio industrial del contratista (5%)	401.38
SUB TOTAL	8428.89
IGV(18%)	1517.20
TOTAL	S/. 9,946.09

Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo con Almacenamiento

Para esta alternativa necesitamos cuantificar la energía que debe generar el arreglo de paneles para el autoconsumo con Batería de almacenamiento. Esto significa que los paneles cubrirán la demanda del diagrama de carga durante el día en horas de sol, y a la vez cargarán la batería para aportar con energía en horas nocturnas.

Tabla 12. Autoconsumo con Almacenamiento

Horas	00	01	02	03	04	05	06	07				
Ene. Autoconsumo												
Ene. Almac. y cons.	0.10	0.10	0.10	0.10	0.15	0.20	0.24	0.24				
Ene. Adquirida												

Horas	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ene. Autoconsumo	0.24	0.24	0.24	0.35	0.40	0.40	0.35	0.25	0.25	0.25	0.30
Ene. Almac. y cons.											
Ene. Adquirida											

Horas	19	20	21	22	23	24	Tot. kWh	%
Ene. Autoconsumo							3.27	43.31%
Ene. Almac. y cons.	0.30	0.31	0.31	0.30	0.25	0.20	2.90	38.41%
Ene. Adquirida	0.30	0.39	0.39	0.30			1.38	18.28%
							7.55	100.00%

La cobertura de Energía (kWh) del diagrama de carga diario (Tabla 12), considera la sgte. Distribución:

Energía de Autoconsumo: Es la energía que genera el sistema fotovoltaico, cubriendo la demanda durante el día en horas de sol. Representa un aporte del 43.31%.

Energía Almacenada y Consumida: Es la Energía almacenada en la Batería durante el día y que se consume en horas nocturnas, contribuyendo en las horas de máxima demanda. Representa un Aporte del 38.41%.

Energía Adquirida: Es la Energía que se consume de la red pública, para cubrir el déficit en horas de máxima demanda. Representa el 18.28%.

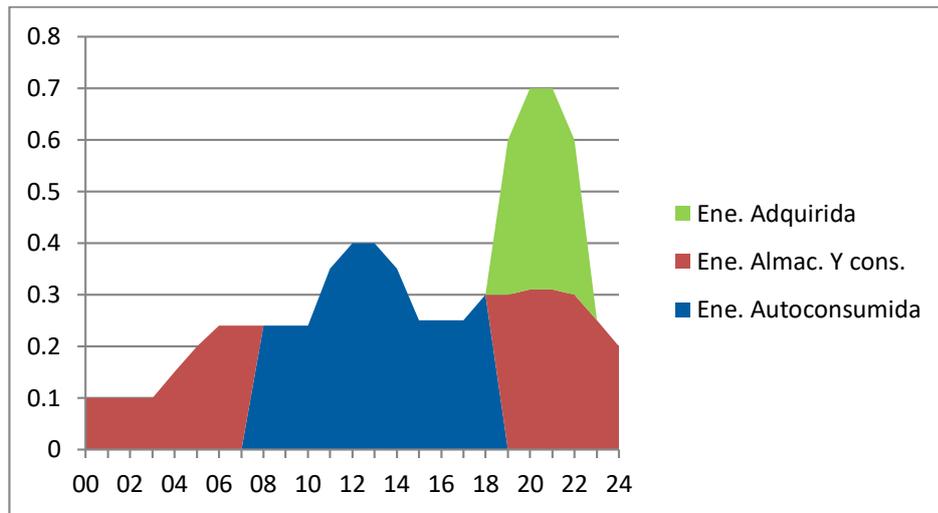


Fig.8. Diagrama de carga diario con Autoconsumo con almacenamiento (kWh)

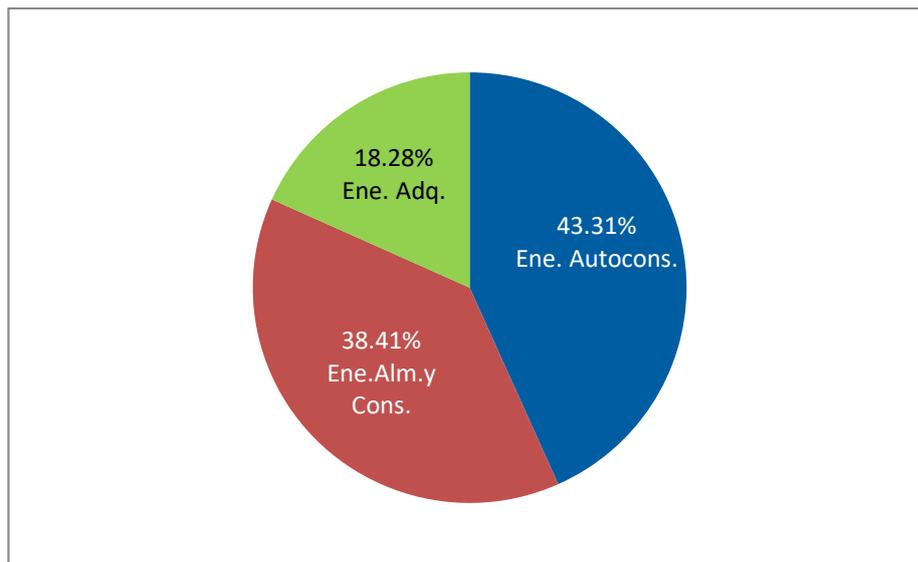


Fig.9. Porcentaje de energía cubierto con Autoconsumo con almacenamiento

Componentes del Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo con Almacenamiento

Módulos Fotovoltaicos

Para el cálculo de la potencia pico de los paneles solares (Wp), tomamos como dato inicial la Energía anual consumida el año 2016 igual a 2583 kWh (ver Tabla 13); A este valor se le aplica el 81.72% que se dedujo de la cobertura del diagrama de carga (ver Tabla 12), obteniendo un valor de 2110.88 kWh al que se le suma las pérdidas en el sistema de almacenamiento (5% x 992.13 = 49.61 kWh), obteniendo un valor de 2160.49 kWh, el cual corresponde al año 1 para la proyección de la demanda hasta el año 25 (Tasa de crecimiento del 1% anual), ya que se considera 25 años de vida útil de la instalación. Asimismo se considera una pérdida de eficiencia anual de la instalación de 0.5%, Los resultados se muestran en la Tabla 14.

Tabla 13. Autoconsumo con almacenamiento del Año 1 (kWh)

	TOT. kWh	%
Demanda de Energía	2583.00	100.00%
Energía autoconsumo directo	1118.75	43.31%
Energía almacenada y consumida	992.13	38.41%
Energía adquirida de la Red	472.12	18.28%

Tabla 14. Energía disponible en paneles y de Autoconsumo (kWh)

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Energía disponible en paneles	3092.07	3076.69	3061.38	3046.15	3030.99	3015.91	3000.91	2985.98	2971.12
Energía Total de autoconsumo	2160.49	2182.09	2203.91	2225.95	2248.21	2270.69	2293.40	2316.33	2339.50
Año	10	11	12	13	14	15	16	17	
Energía disponible en paneles	2956.34	2941.63	2927.00	2912.44	2897.95	2883.53	2869.18	2854.91	
Energía Total de autoconsumo	2362.89	2386.52	2410.39	2434.49	2458.84	2483.42	2508.26	2533.34	
Año	18	19	20	21	22	23	24	25	
Energía disponible en paneles	2840.71	2826.57	2812.51	2798.52	2784.59	2770.74	2756.96	2743.24	
Energía Total de autoconsumo	2558.67	2584.26	2610.10	2636.20	2662.57	2689.19	2716.08	2743.24	

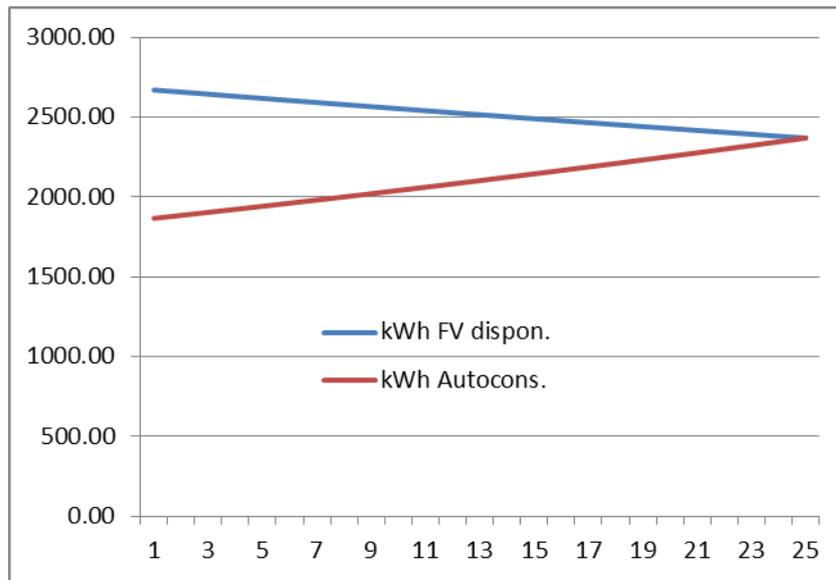


Fig.10. Energía disponible en paneles Vs. Autocons. c/almac. (kWh)

Energía de autoconsumo año 1 = 2160.49 kWh

Energía de autoconsumo diaria año 1 = 6.17 kWh

Energía requerida para calcular la potencia de los paneles = 3092.07 kWh

Energía diaria requerida para el cálculo de los paneles = $3092.07 \times 6.17 / 2160.49$
 $= 8.83 \text{ kWh}$

Potencia total del arreglo de paneles: P_t

$$P_t = P_p \times E_d / (R_s \times e_{\text{panel}} \times e_{\text{batería}})$$

P_p : potencia proporcional del panel [Wp/m^2]

La irradiancia solar nominal incidente sobre la tierra es de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$. Los paneles que consideramos para ésta alternativa son de una eficiencia de 16.97%, por lo que la potencia proporcional del panel es:

$$P_p = 16.97\% \times 1000 = 169.7 \text{ W}/\text{m}^2$$

E_d : Energía diaria requerida = 8.83 kWh

R_s : Radiación solar = $4.51 \text{ kWh}/\text{m}^2$ (valor mínimo)

e_{panel} : eficiencia del panel = 16.97%

ebatería : eficiencia de la batería = 98%

$$P_t = 169.7 \times 8.83 / (16.97\% \times 98\%)$$

$$P_t = 1997.83 \text{ Wp}$$

Considerando paneles de 320 Wp, se tiene:

$$\text{Número de paneles} = 1997.83 / 320 = 6.2 \approx 6$$

El arreglo de los paneles será de conexión serie-paralelo; es decir, dos ramas con tres paneles en serie cada una y estas a su vez conectadas en paralelo (ver anexo 6).

Los paneles que se consideran son de las siguientes características:

Tabla 15. Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico

Módulo Fotovoltaico	Valor
Tipo	Policristalino
Potencia máxima nominal (Pmax)	320 Wp
Número de celdas	72
eficiencia	16.97%
Voltaje de operación (Vmp)	36.8 Vdc
Corriente de operación (Imp)	8.69 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	45.3 Vdc
Corriente de corto circuito (Isc)	9.26 A
NOCT (Temp. de Operación Nominal del módulo)	45°C
Tamaño	195.4x98.2x4.0 cm
Peso (neto):	22.4 kg

Inversor

El inversor considerado será un inversor híbrido (todo en uno), que realiza las funciones de inversor, regulador y cargador. Está equipado con regulador de carga solar MPPT, que permite obtener la máxima potencia del generador fotovoltaico, mediante el seguimiento del punto de máxima potencia, regulando la potencia de los paneles solares, de acuerdo al consumo y a la carga de la batería. Gestiona de manera óptima y eficiente la energía de las 3 fuentes (solar,

batería, red), lo que permite cubrir el consumo de energía de la vivienda, prioritariamente con el generador fotovoltaico, si no es suficiente ingresa la batería si está cargada y finalmente se toma de la red.

Tabla 16. Especificaciones técnicas del Inversor

Inversor Híbrido (Todo en uno)	Valor
Potencia máxima de entrada DC	3000 W
Tensión MPP para potencia nominal	60 - 115 Vdc
Tensión máxima de circuito abierto	145 Vdc
Potencia máxima de salida AC	6000 VA (10 seg.)
Potencia nominal AC	3000VA / 2400W
Tensión nominal de red AC (onda sinusoidal pura)	230 V \pm 5%
Frecuencia de red	50/60 Hz (auto detección)
Carga de baterías ajustable via LCD	max 60A 48V
Protección	Sobrecarga, Temperatura, Corto circuitos.
Fusible rearmable	en salida 230VAC
Medidas	140 x 295 x 479mm,
peso	11.5 kg
Eficiencia	>98%

Batería

Se considera una Batería de Litio para almacenar el excedente de energía generada por los paneles fotovoltaicos durante el día y utilizarla cuando se pone el sol. No requiere mantenimiento y su uso es ideal para el hogar y para el autoconsumo en particular. Soporta muy bien los picos de arranque de los electrodomésticos y su gran capacidad destaca sobre el resto de baterías del mercado.

Tabla 17. Especificaciones técnicas de la Batería

Batería de Litio	Valor
Capacidad total de energía	3.3 kWh
Capacidad de energía utilizable	2.9 kWh
Capacidad de la batería	63 Ah
Rango de voltaje	42.0 ~ 58.8 Vdc
Voltaje nominal	48 Vdc
Max. Corriente de carga / descarga	71.4 A
Max. Potencia de Carga / descarga	3.0 kW
Potencia pico	3.3 kW por 3 seg.
Corriente pico	78.6 A por 3 seg.
Ciclos de carga descarga	10,000 ciclos
Ubicación de la instalación	Interior (pared) / aire libre
Temperatura de operación	-10 ~ 45°C
Dimensiones	510 x 595 x 247 mm.
Peso	40 kg
Eficiencia	>95%

Analizador de Red antivertido

El analizador de red antivertido se instala en el punto de acometida de la instalación domiciliaria, después del medidor de la Empresa concesionaria de electricidad. Su función es no permitir la inyección o vertido de potencia hacia la red pública, configurándose para que el inversor produzca solo la energía necesaria que demandan las cargas de la vivienda. La comunicación con el inversor es mediante la interface RS485 (ver anexo 7).

Costo total del SFcR de Autoconsumo con Almacenamiento

Tabla 18. Costo de materiales y mano de obra

Item	Precio (S/.)	Cantidad	Importe (S/.)	%
Equipos			16199.53	92.15%
Panel Fotovoltaico de 320 Wp	723.94	6	4343.66	24.71%
Batería de Litio 48V 63Ah 3.3kWh	7075.96	1	7075.96	40.25%
Inversor/Cargador/Regulador híbrido	2663.40	1	2663.40	15.15%
Analizador de Red antivertido monofásico	1505.40	1	1505.40	8.56%
Int sec. DC 63A, 200Vcc	98.16	1	98.16	0.56%
Int. termomagnético 230Vca, 16A, 6kA	91.44	1	91.44	0.52%
Int. diferencial 230Vca, 6KA, 30mA, 25A	121.51	1	121.51	0.69%
Sistema puesta a tierra, cables	300.00	1	300.00	1.71%
Estructura de Soporte				
Perfil principal, fijadores, sujeción	730.00	1	730.00	4.15%
Mano de obra				
Instalación, transporte al sitio	650.00	1	650.00	3.70%
Total			S/. 17,579.53	100.00%

Tipo de Cambio: 1\$US=S/.3,27 1€=S/.3,86

Tabla 19. Costo de ejecución por contrata

Costo de materiales y mano de obra	17579.53
Beneficio industrial del contratista (5%)	878.98
SUB TOTAL	18458.51
IGV(18%)	3322.53
TOTAL	S/. 21,781.04

Resultados de la Variable Sistema Fotovoltaico (SF):

Tabla 20. Indicador y unidad de medida de variable V1

	Autoconsumo Directo	Autoconsumo con Almacenamiento
Costo Total del sistema Fotovoltaico	S/. 9,946.09	S/. 21,781.04
	\$ 3,041.62	\$ 6,660.87
Potencia pico del SF (kWp)	1.08	1.92
VI (SF)	9,209.34 S/. / kWp	11,344.29 S/. / kWp
	2,861.31 US\$ / kWp	3,469.20 US\$ / kWp

Tipo de Cambio: 1\$US=S/.3,27 1€=S/.3,86

El costo del sistema FV de Autoconsumo con almacenamiento se incrementa en 118.99% respecto al costo del Autoconsumo Directo, debido al precio de la Batería que representa el 40% del equipamiento (ver Tabla 18) y también al aumento de paneles necesarios para el almacenamiento de energía.

3.2 Determinar el costo de producción de energía del sistema fotovoltaico de autoconsumo.

Variación de la tarifa eléctrica desde el 2000 hasta el 2016

Tabla 21. Promedio anual de la tarifa residencial BT5B

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
2016	0.5604	0.5663	0.5667	0.5567	0.5532	0.5573	0.5597	0.5641	0.5452	0.5485	0.5611	0.5687	0.5590
2015	0.4590	0.4710	0.4759	0.4760	0.5005	0.5114	0.5259	0.5376	0.5440	0.5458	0.5466	0.5489	0.5119
2014	0.4275	0.4275	0.4522	0.4609	0.4609	0.4608	0.4629	0.4500	0.4429	0.4502	0.4513	0.4500	0.4498
2013	0.3747	0.3813	0.3875	0.3885	0.3709	0.3691	0.3784	0.3869	0.3905	0.3911	0.4162	0.4275	0.3886
2012	0.3806	0.3938	0.3970	0.3969	0.3827	0.3719	0.3714	0.3740	0.3762	0.3755	0.3765	0.3752	0.3810
2011	0.3594	0.3594	0.3503	0.3562	0.3618	0.3619	0.3653	0.3696	0.3748	0.3771	0.3767	0.3768	0.3658
2010	0.3492	0.3492	0.3504	0.3504	0.3433	0.3433	0.3447	0.3420	0.3418	0.3443	0.3421	0.3420	0.3452
2009	0.3723	0.3774	0.3849	0.3849	0.3848	0.3848	0.3796	0.3630	0.3630	0.3548	0.3478	0.3429	0.3700
2008	0.3436	0.3415	0.3415	0.3381	0.3209	0.3224	0.3257	0.3257	0.3254	0.3446	0.3769	0.3724	0.3399
2007	0.3410	0.3410	0.3410	0.3406	0.3361	0.3373	0.3374	0.3415	0.3415	0.3427	0.3435	0.3403	0.3403
2006	0.3774	0.3758	0.3763	0.3753	0.3453	0.3495	0.3502	0.3502	0.3516	0.3516	0.3421	0.3414	0.3572
2005	0.3758	0.3749	0.3749	0.3745	0.3617	0.3693	0.3698	0.3691	0.3757	0.3767	0.3696	0.3740	0.3722
2004	0.3453	0.3451	0.3453	0.3475	0.3496	0.3516	0.3531	0.3545	0.3612	0.3612	0.3830	0.3840	0.3568
2003	0.3614	0.3620	0.3642	0.3643	0.3589	0.3589	0.3589	0.2565	0.2565	0.2562	0.3426	0.3426	0.3319
2002	0.3514	0.3540	0.3540	0.3510	0.3510	0.3530	0.3530	0.3525	0.3605	0.3633	0.3633	0.3676	0.3562
2001	0.3811	0.3811	0.3811	0.3821	0.3818	0.3820	0.3820	0.3820	0.3820	0.3795	0.3538	0.3521	0.3767
2000	0.3529	0.3564	0.3624	0.3624	0.3600	0.3600	0.3600	0.3723	0.3747	0.3769	0.3717	0.3721	0.3652

Tabla 22. Porcentaje de variación de la Tarifa residencial BT5B

2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
3.17%	-5.44%	-6.82%	7.49%	4.31%	-4.01%	-4.73%	-0.13%
2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
8.86%	-6.70%	5.95%	4.16%	1.99%	15.75%	13.81%	9.20%

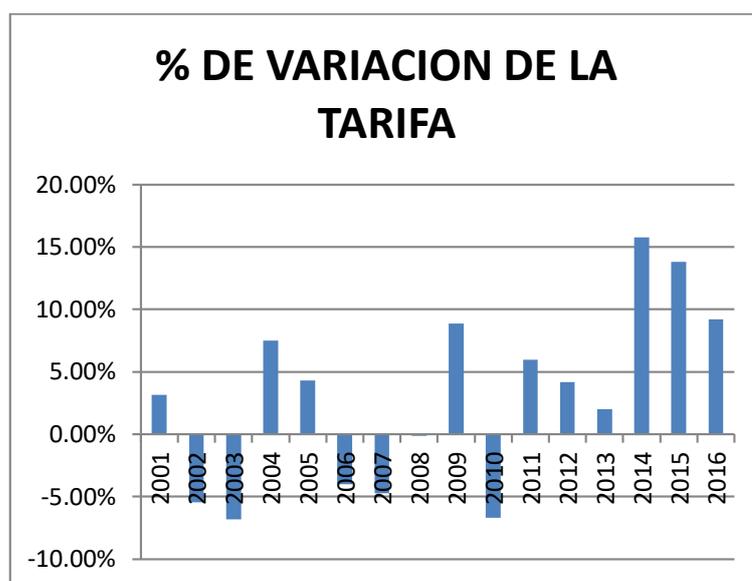


Fig.11 Porcentaje de variación anual de la Tarifa eléctrica

Se observa que desde el 2001 hasta el 2013 hay una variación inestable de la tarifa con valores positivos y negativos alternados. Desde el 2014 se produce un fuerte aumento de hasta el 15.75%.

Productividad anual SFV de autoconsumo directo

Tabla 23. Productividad anual SFV autoconsumo directo (kWh / kWp)

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Energía producida por SF (kWh)	1118.75	1129.94	1141.24	1152.65	1164.18	1175.82	1187.58	1199.45	1211.45
Potencia pico de paneles (kWp)	1.08	1.07	1.07	1.06	1.06	1.05	1.05	1.04	1.04
Productividad (kWh / kWp)	1035.9	1051.5	1067.3	1083.4	1099.8	1116.4	1133.2	1150.3	1167.6

Año	10	11	12	13	14	15	16	17
Energía producida por SF (kWh)	1223.56	1235.80	1248.15	1260.64	1273.24	1285.97	1298.83	1311.82
Potencia pico de paneles (kWp)	1.03	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00
Productividad (kWh / kWp)	1185.2	1203.1	1221.2	1239.6	1258.3	1277.3	1296.5	1316.1

Año	18	19	20	21	22	23	24	25
Energía producida por SF (kWh)	1324.94	1338.19	1351.57	1365.09	1378.74	1392.53	1406.45	1420.52
Potencia pico de paneles (kWp)	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96
Productividad (kWh / kWp)	1335.9	1356.1	1376.5	1397.3	1418.3	1439.7	1461.4	1483.4

La productividad anual nos indica las horas de funcionamiento del SFV a potencia nominal, y es el resultado de dividir la energía producida por el SF (kWh) entre la potencia pico de los paneles (kWp). La radiación solar, cuyas unidades son kWh/m², también se expresa como horas solar pico por día (HSP), para lo cual se divide la radiación entre la irradiancia incidente sobre la tierra (1000 W/m²). En nuestro caso, tenemos un valor de radiación de 4.51 kWh/m², por lo que efectuando la división (4.51 kWh/m² ÷ 1kW/m²), nos da 4.51 HSP;

Es decir, el mismo valor pero expresado en HSP. Para determinar la productividad durante el periodo de vida útil del sistema (25 años), consideramos un incremento anual del autoconsumo de energía igual al 1% y una pérdida de eficiencia del sistema de 0.5% anual. En el año 25, que es el año más desfavorable, las HSP deben ser menor o igual a 4.51. Para efectuar la comprobación dividimos 1483.4 entre 365 días de un año normal, obteniendo un valor de 4.06 HSP, lo que se interpreta como que, el sistema fotovoltaico al final de su vida útil no va a requerir más de 4.51 HSP, para generar la energía requerida. Cabe precisar que 4.51 HSP no significa que existan 4.51 horas de Sol. Las 4.51 HSP se refieren a un Sol hipotético de 1000 W/m² que logra, en sólo 4.51 horas, producir la misma radiación que logra el Sol verdadero en 12 horas.

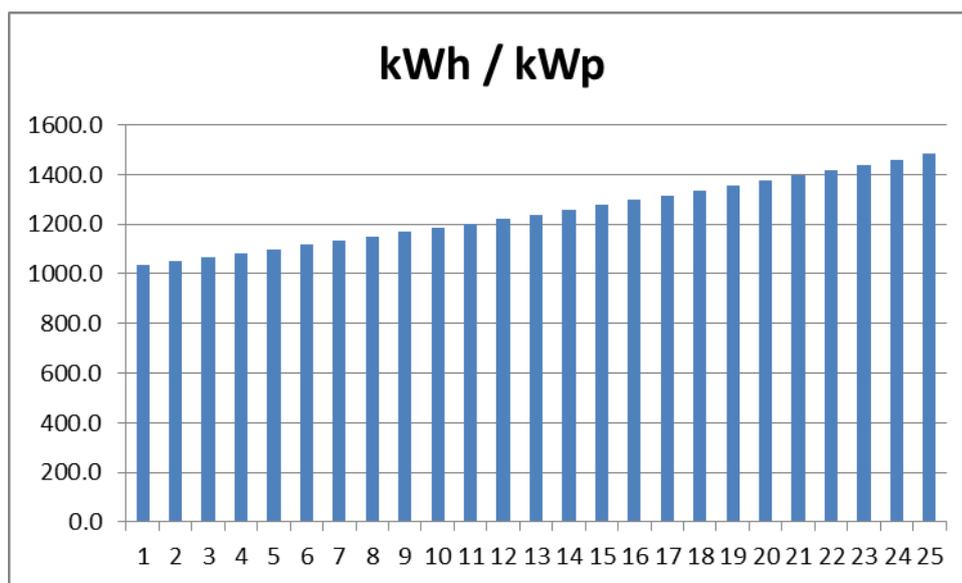


Fig. 12 Productividad anual del SFV de autoconsumo directo

Costo de la energía producida por el SFV de autoconsumo directo (soles/kwh)

Costo Total del Sistema Fotovoltaico : S/. 9,946.09

Energía producida por el SFV en 25 años : 31597.08 kWh

Costo Energía producida por el SFV = $9946.09 / 31597.08$

= 0.315 S/. / kWh (0.096 US\$/kWh)

Tabla 24. Costo energía SFV comparada con Tarifa de la Red (S/. / kWh)

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tarifa Energía de la Red	0.559	0.609	0.664	0.724	0.789	0.860	0.937	1.022	1.114
Costo energía producida por SFV	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315

Año	10	11	12	13	14	15	16	17
Tarifa Energía de la Red	1.214	1.323	1.442	1.572	1.714	1.868	2.036	2.219
Costo energía producida por SFV	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315

Año	18	19	20	21	22	23	24	25
Tarifa Energía de la Red	2.419	2.637	2.874	3.133	3.415	3.722	4.057	4.422
Costo energía producida por SFV	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315	0.315

Como se puede apreciar, el costo de la energía producida por el SFV es constante y menor que la Tarifa de la energía suministrada por la Red, para la cual se está considerando un incremento del 9% anual.

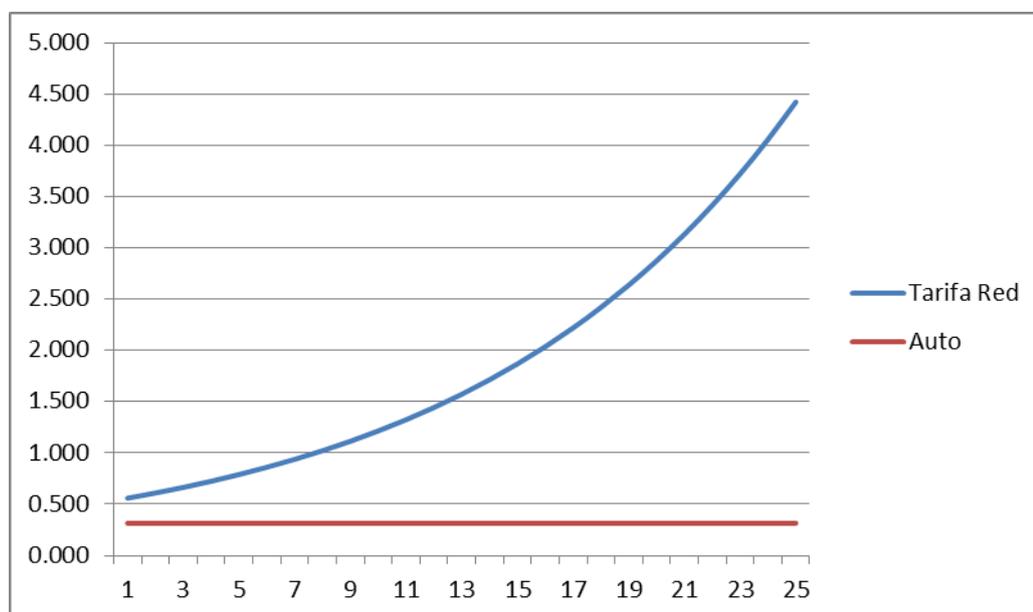


Fig. 13 Costo energía SFV autoconsumo vs. Tarifa BT5B Red

Productividad anual SFV de autoconsumo con almacenamiento

Tabla 25. Productividad anual SFV autocons. c/almacenamiento (kWh / kWp)

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Energía producida por SF (kWh)	2160.49	2182.09	2203.91	2225.95	2248.21	2270.69	2293.40	2316.33	2339.50
Potencia pico de paneles (kWp)	1.92	1.91	1.90	1.89	1.88	1.87	1.86	1.85	1.84
Productividad (kWh / kWp)	1125.3	1142.2	1159.4	1176.9	1194.7	1212.7	1230.9	1249.5	1268.3

Año	10	11	12	13	14	15	16	17
Energía producida por SF (kWh)	2362.89	2386.52	2410.39	2434.49	2458.84	2483.42	2508.26	2533.34
Potencia pico de paneles (kWp)	1.84	1.83	1.82	1.81	1.80	1.79	1.78	1.77
Productividad (kWh / kWp)	1287.5	1306.9	1326.6	1346.6	1366.9	1387.5	1408.4	1429.6

Año	18	19	20	21	22	23	24	25
Energía producida por SF (kWh)	2558.67	2584.26	2610.10	2636.20	2662.57	2689.19	2716.08	2743.24
Potencia pico de paneles (kWp)	1.76	1.75	1.75	1.74	1.73	1.72	1.71	1.70
Productividad (kWh / kWp)	1451.2	1473.1	1495.3	1517.8	1540.7	1563.9	1587.5	1611.4

La productividad anual nos indica las horas de funcionamiento del SFV a potencia nominal, y es el resultado de dividir la energía producida por el SF (kWh) entre la potencia pico de los paneles (kWp). La radiación solar, cuyas unidades son kWh/m², también se expresa como horas solar pico por día (HSP), para lo cual se divide la radiación entre la irradiancia incidente sobre la tierra (1000 W/m²). En nuestro caso, tenemos un valor de radiación de 4.51 kWh/m², por lo que efectuando la división (4.51 kWh/m² ÷ 1kW/m²), nos da 4.51 HSP; Es decir, el mismo valor pero expresado en HSP. Para determinar la productividad durante el periodo de vida útil del sistema (25 años), consideramos un incremento anual del autoconsumo de energía igual al 1% y una pérdida de eficiencia del sistema de 0.5% anual. En el año 25, que es el año mas desfavorable, las HSP deben ser menor o igual a 4.51. Para efectuar la comprobación dividimos 1611.4 entre 365 días de un año normal, obteniendo un valor de 4.41 HSP, lo que se interpreta como que, el sistema fotovoltaico al final de su vida útil no va a requerir mas de 4.51 HSP, para generar la energía requerida. Cabe precisar que 4.51 HSP no significa que existan 4.51 horas de Sol. Las 4.51 HSP se refieren a un Sol hipotético de 1000 W/m² que logra, en sólo 4.51 horas, producir la misma radiación que logra el Sol verdadero en 12 horas.

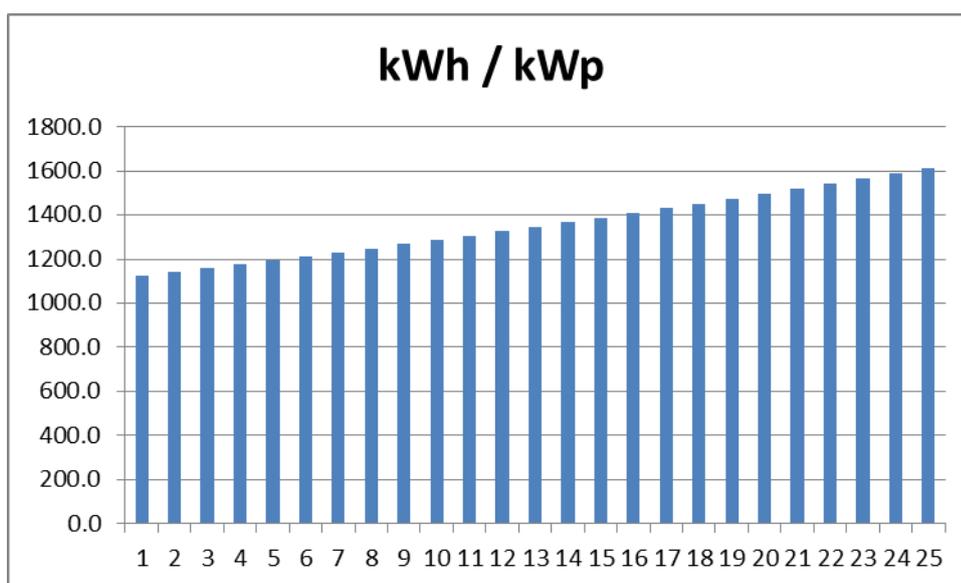


Fig.14 Productividad anual del SFV de autoconsumo c/almacenamiento

Costo de la energía producida por el SFV de autoconsumo con almacenamiento (soles/kwh)

Costo Total del Sistema Fotovoltaico : S/. 21,781.04

Energía producida por el SFV en 25 años : 61019.05 kWh

Costo Energía producida por el SFV = $21781.04 / 61019.05$

= 0.357 S/. / kWh (0.109 \$/kWh)

Tabla 26. Costo energía SFV comparada con Tarifa de la Red (S/. / kWh)

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tarifa Energía de la Red	0.559	0.609	0.664	0.724	0.789	0.860	0.937	1.022	1.114
Costo energía producida por SFV	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357

Año	10	11	12	13	14	15	16	17
Tarifa Energía de la Red	1.214	1.323	1.442	1.572	1.714	1.868	2.036	2.219
Costo energía producida por SFV	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357

Año	18	19	20	21	22	23	24	25
Tarifa Energía de la Red	2.419	2.637	2.874	3.133	3.415	3.722	4.057	4.422
Costo energía producida por SFV	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357	0.357

Como se puede apreciar, el costo de la energía producida por el SFV es constante y menor que la Tarifa de la energía suministrada por la Red, para la cual se está considerando un incremento del 9% anual.

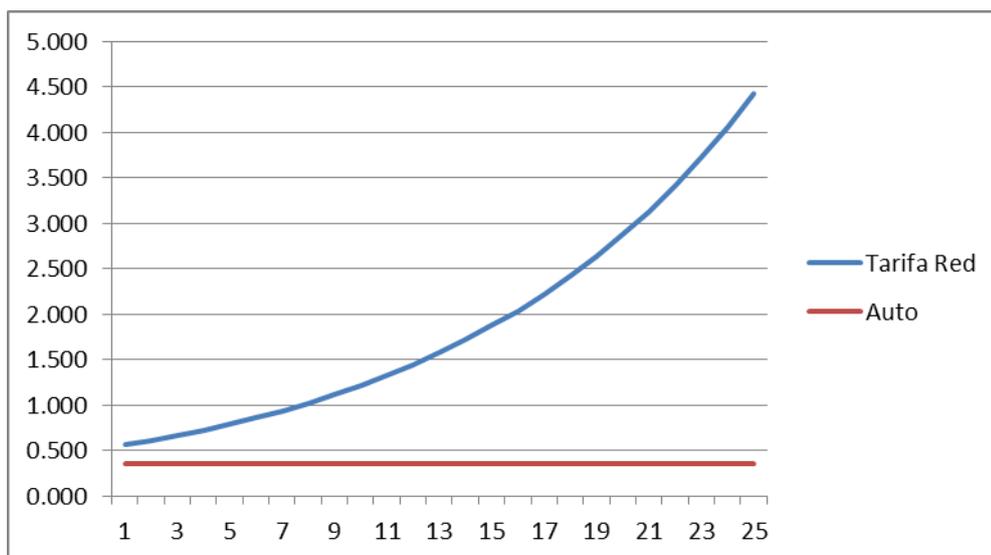


Fig. 15 Costo energía SFV autoconsumo vs. Tarifa BT5B Red

Resultados de la Variable Autoconsumo (AC):

Tabla 27. Indicador y unidad de medida de variable V2

	Autoconsumo Directo	Autoconsumo con Almacenamiento
Costo Total del sistema Fotovoltaico	S/. 9,946.09	S/. 21,781.04
	\$ 3,041.62	\$ 6,660.87
Energía producida por el SFV en 25 años	31597.08 kWh	61019.05 kWh
V2 (AC)	0.315 S/. / kWh	0.357 S/. / kWh
	0.096 US\$/kWh	0.109 US\$/kWh

El costo de la energía producida por el SFV de autoconsumo con almacenamiento es mayor, pero su energía producida es el doble de la del SFV de autoconsumo directo.

El Costo de la energía producida por cualquiera de los dos sistemas fotovoltaicos, comparados con el costo de la tarifa que se paga a la empresa de electricidad local son menores desde el año 1, aumentando notoriamente la diferencia hasta el año 25, debido al incremento anual de las tarifas eléctricas, mientras que el costo de la energía producida con energía solar se mantiene igual,

ya que es el resultado de dividir el costo total del sistema fotovoltaico entre la suma de la energía producida durante los 25 años de su vida útil.

3.3 Determinar la reducción de pago con un SFcR de autoconsumo.

Tabla 28. Consumo de Energía, Tarifa y Pago del año 2016 (año 1)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
kWh	220.00	203.00	203.00	201.00	234.00	213.00	224.00	219.00	217.00	234.00	201.00	214.00	2583.00
Tarifa	0.5604	0.5663	0.5667	0.5567	0.5532	0.5573	0.5597	0.5641	0.5452	0.5485	0.5611	0.5687	0.5590
Pago (S/.)	123.29	114.96	115.04	111.90	129.45	118.70	125.37	123.54	118.31	128.35	112.78	121.70	1443.39

En la tabla 5 se muestra que la energía generada con el sistema de autoconsumo directo es el 43.31% del consumo total de energía, o sea $43.31\% \times 2583 = 1118.75$ kWh; multiplicando este resultado por la tarifa promedio igual a 0.5590 S/. / kWh, nos da como resultado S/. 625.38, que viene a ser el ahorro en el año 1. De igual manera en la tabla 12 se muestra que la energía generada con el sistema de autoconsumo con almacenamiento es el 81.72% del consumo total de energía, o sea $81.72\% \times 2583 = 2110.88$ kWh; multiplicando este resultado por la tarifa promedio igual a 0.5590 S/. / kWh, nos da como resultado S/. 1179.98, que viene a ser el ahorro en el año 1.

Resultados de la Variable Reducción de pago (RP):

Tabla 29. Indicador y unidad de medida de variable V3

	Autoconsumo Directo	Autoconsumo con Almacenamiento
Energía generada en el año 1	1118.75 kWh	2110.88 kWh
Tarifa BT5B de la Red	0.559 S/. / kWh	0.559 S/. / kWh
Ahorro obtenido en el año 1	S/. 625.38	S/. 1,179.98
V3 (RP)	43.31%	81.72%

Con el sistema FV con almacenamiento se cubre el 81.72% del consumo de las cargas de la vivienda, siendo casi el doble del porcentaje que se cubre con autoconsumo directo, lo cual significa un mayor ahorro en el pago mensual del recibo de Luz.

3.4 Determinar la disminución de gases de efecto invernadero.

Ahorro de combustible con SFV de autoconsumo directo

Un indicador muy útil para medir la cantidad de combustible ahorrado cuando se usa una fuente de energía renovable, es el factor de conversión de electricidad a energía primaria [TOE / MWh]. Este coeficiente identifica T.O.E. (Toneladas de Equivalente de Petróleo) necesarias para la producción de 1MWh de energía, o las TOEs ahorradas con la adopción de tecnologías fotovoltaicas para la producción de electricidad.

Tabla 30. Ahorro de Toneladas de Equivalente de Petróleo

Ahorro de combustible	TOE
Factor de conversión de electricidad a energía primaria [TOE/MWh]	0.22
TOE ahorrado en un año = 0.22×1.11875 MWh	0.25
TOE guardado en 25 años = 0.22×31.5971 MWh	6.95

Fuente de Factor de conversión: World Energy Council 2007

Emisiones de gas de efecto invernadero evitadas

La instalación fotovoltaica también permite la reducción de sustancias contaminantes en la atmósfera que contribuyen al efecto invernadero, al desplazar a la energía que generan las centrales termoeléctricas en base a combustibles fósiles. Para la estimación de las emisiones de CO₂, se ha considerado el factor de emisión del 2007, calculado por el FONAM para el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), equivalente a 0.5470 Ton./MWh

Tabla 31. Emisiones evitadas de Ton. CO₂

Emisiones atmosféricas evitadas	Ton. CO ₂
Emisiones evitadas en un año = 0.5470×1.12 MWh	0.613
Emisiones evitadas en 25 años = 0.5470×31.60 MWh	17.28

Ahorro de combustible con SFV de autoconsumo con almacenamiento

Un indicador muy útil para medir la cantidad de combustible ahorrado cuando se usa una fuente de energía renovable es el factor de conversión de electricidad

a energía primaria [TOE / MWh]. Este coeficiente identifica T.O.E. (Toneladas de Equivalente de Petróleo) necesarias para la producción de 1MWh de energía, o las TOEs ahorradas con la adopción de tecnologías fotovoltaicas para la producción de electricidad.

Tabla 32. Ahorro de Toneladas de Equivalente de Petróleo

Ahorro de combustible	TOE
Factor de conversión de electricidad a energía primaria [TOE/MWh]	0.22
TOE ahorrado en un año = 0.22×2.1605 MWh	0.48
TOE guardado en 25 años = 0.22×61.019 MWh	13.42

Fuente de datos: World Energy Council 2007

Emisiones de gas de efecto invernadero evitadas

La instalación fotovoltaica también permite la reducción de sustancias contaminantes en la atmósfera que contribuyen al efecto invernadero, al desplazar a la energía que generan las centrales termoeléctricas en base a combustibles fósiles. Para la estimación de las emisiones de CO₂, se ha considerado el factor de emisión del 2007, calculado por el FONAM para el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), equivalente a 0.5470 Ton./MWh

Tabla 33. Emisiones evitadas de Ton. CO₂

Emisiones atmosféricas evitadas	Ton. CO ₂
Emisiones evitadas en un año = 0.5470×2.16 MWh	1.181
Emisiones evitadas en 25 años = 0.5470×61.02 MWh	33.38

Resultados de la Variable Conservación del Medio Ambiente (CMA):

Tabla 34. Indicador y unidad de medida de variable V4

			Autoconsumo Directo	Autoconsumo con Almacenamiento
V4 (CMA)	Ahorro de combustible (TOE)	En 1 año	0.25	0.48
		En 25 años	6.95	13.42
	Emisiones evitadas de Ton. CO2	En 1 año	0.613	1.181
		En 25 años	17.28	33.38

TOE: Toneladas de equivalente de petróleo

Las Centrales de generación de electricidad en base a combustibles fósiles son una fuente importante de emisión de gases de efecto invernadero. En el Perú el sector Energía contribuye con el 15% del total de emisiones; Es por ello, de suma importancia y prioridad recurrir a la generación de energía eléctrica procedente de Recursos Energéticos Renovables no contaminantes.

En la Tabla 34 podemos apreciar que la contribución de una sola vivienda con sistema de generación FV es bastante significativa en toda su vida útil de 25 años. Es por ello, que en un futuro muy cercano, la tendencia será que las viviendas se conviertan en generadoras de energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos de autoconsumo.

3.5 Determinar la viabilidad económica (rentabilidad) de la inversión

Presupuesto anual del Sistema Fotovoltaico de autoconsumo

El análisis económico del Sistema Fotovoltaico de autoconsumo conectado a Red permite verificar si la instalación proyectada en el tiempo será lo suficientemente rentable. Este análisis está fundamentado en el comportamiento de cinco parámetros: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), costo de la energía producida y período de recuperación de la inversión y tiempo a flujo de caja acumulado positivo. Estos parámetros posibilitan evaluar de forma preliminar la viabilidad económica del Sistema Fotovoltaico, indicando si el balance de ingresos y gastos a lo largo del tiempo de la vida útil es positivo,

si el valor de la energía producida es comparable a la Tarifa de la energía suministrada por la Red, y cuál es el horizonte de recuperación de la inversión.

Los siguientes parámetros de referencia se han considerado en el Análisis Económico:

Tasa de inflación anual de costes	:	2.00%
Tasa de incremento anual de la tarifa de electricidad	:	9.00%
Tasa de descuento o de actualización	:	4.00%
Aumento anual del consumo de energía	:	1.00%
Pérdida anual de eficiencia de la instalación	:	0.50%
Tiempo de vida útil de la instalación	:	25 años

Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo Directo

Tabla 35. Presupuesto anual de SFV Autoconsumo Directo sin financiamiento

Año	1	2	3	4	5
Energía (*)					
Energía disponible en paneles solares	1601.12	1593.15	1585.23	1577.34	1569.49
Energía Total para autoconsumo	1118.73	1129.92	1141.22	1152.63	1164.15
Energía autoconsumo directo	1118.73	1129.92	1141.22	1152.63	1164.15
Energía almacenada y consumida					
Pérdidas del sistema de almacenamiento					
Energía adquirida de la red	1464.27	1478.91	1493.70	1508.64	1523.73
Consumos (*)					
Consumo total	2583.00	2608.83	2634.92	2661.27	2687.88
Autoconsumo	1118.73	1129.92	1141.22	1152.63	1164.15
Consumo de la Red	1464.27	1478.91	1493.70	1508.64	1523.73
Presupuesto anual (**)					
Ingresos Total	625.37	688.47	757.94	834.41	918.60
Ahorro de factura	625.37	688.47	757.94	834.41	918.60
Costo de operación	100.00	102.00	104.04	106.12	108.24
Costes periódicos	100.00	102.00	104.04	106.12	108.24
Ingresos Netos	525.37	586.47	653.90	728.29	810.36
Flujo de caja	525.37	586.47	653.90	728.29	810.36
Flujo de caja acumulado	-9420.71	-8834.23	-8180.32	-7452.01	-6641.63
VAN	-9440.92	-8898.68	-8317.36	-7694.80	-7028.73
TIR	-94.72%	-72.93%	-52.77%	-37.80%	-26.94%

Año	6	7	8	9	10
Energía (*)					
Energía disponible en paneles solares	1561.68	1553.92	1546.18	1538.49	1530.84
Energía Total para autoconsumo	1175.80	1187.55	1199.43	1211.42	1223.54
Energía autoconsumo directo	1175.80	1187.55	1199.43	1211.42	1223.54
Energía almacenada y consumida					
Pérdidas del sistema de almacenamiento					
Energía adquirida de la red	1538.96	1554.35	1569.90	1585.59	1601.45
Consumos (*)					
Consumo total	2714.76	2741.91	2769.33	2797.02	2824.99
Autoconsumo	1175.80	1187.55	1199.43	1211.42	1223.54
Consumo de la Red	1538.96	1554.35	1569.90	1585.59	1601.45
Presupuesto anual (**)					
Ingresos Total	1011.29	1113.33	1225.67	1349.34	1485.48
Ahorro de factura	1011.29	1113.33	1225.67	1349.34	1485.48
Costo de operación	110.41	112.62	114.87	117.17	119.51
Costes periódicos	110.41	112.62	114.87	117.17	119.51
Ingresos Netos	900.88	1000.71	1110.80	1232.17	1365.97
Flujo de caja	900.88	1000.71	1110.80	1232.17	1365.97
Flujo de caja acumulado	-5740.73	-4740.00	-3629.18	-2396.98	-1030.98
VAN	-6316.73	-5556.25	-4744.59	-3878.87	-2956.04
TIR	-18.94%	-12.91%	-8.26%	-4.61%	-1.69%

Año	11	12	13	14	15
Energía (*)					
Energía disponible en paneles solares	1523.22	1515.64	1508.10	1500.60	1493.13
Energía Total para autoconsumo	1235.77	1248.13	1260.61	1273.22	1285.95
Energía autoconsumo directo	1235.77	1248.13	1260.61	1273.22	1285.95
Energía almacenada y consumida					
Pérdidas del sistema de almacenamiento					
Energía adquirida de la red	1617.47	1633.64	1649.98	1666.48	1683.14
Consumos (*)					
Consumo total	2853.24	2881.77	2910.59	2939.69	2969.09
Autoconsumo	1235.77	1248.13	1260.61	1273.22	1285.95
Consumo de la Red	1617.47	1633.64	1649.98	1666.48	1683.14
Presupuesto anual (**)					
Ingresos Total	1635.37	1800.38	1982.04	2182.02	2402.19
Ahorro de factura	1635.37	1800.38	1982.04	2182.02	2402.19
Costo de operación	121.90	124.34	126.82	129.36	131.95
Costes periódicos	121.90	124.34	126.82	129.36	131.95
Ingresos Netos	1513.47	1676.04	1855.21	2052.66	2270.24
Flujo de caja	1513.47	1676.04	1855.21	2052.66	2270.24
Flujo de caja acumulado	482.52	2158.59	4013.84	6066.54	8336.82
VAN	-1972.90	-926.03	188.18	1373.56	2634.17
TIR	0.68%	2.63%	4.25%	5.61%	6.76%

Año	16	17	18	19	20
Energía (*)					
Energía disponible en paneles solares	1485.71	1478.31	1470.96	1463.64	1456.36
Energía Total para autoconsumo	1298.81	1311.80	1324.92	1338.17	1351.55
Energía autoconsumo directo	1298.81	1311.80	1324.92	1338.17	1351.55
Energía almacenada y consumida					
Pérdidas del sistema de almacenamiento					
Energía adquirida de la red	1699.97	1716.97	1734.14	1751.48	1769.00
Consumos (*)					
Consumo total	2998.78	3028.77	3059.06	3089.65	3120.55
Autoconsumo	1298.81	1311.80	1324.92	1338.17	1351.55
Consumo de la Red	1699.97	1716.97	1734.14	1751.48	1769.00
Presupuesto anual (**)					
Ingresos Total	2644.57	2911.41	3205.17	3528.57	3884.60
Ahorro de factura	2644.57	2911.41	3205.17	3528.57	3884.60
Costo de operación	134.59	137.28	140.02	142.82	145.68
Costes periódicos	134.59	137.28	140.02	142.82	145.68
Ingresos Netos	2509.98	2774.13	3065.14	3385.75	3738.92
Flujo de caja	2509.98	2774.13	3065.14	3385.75	3738.92
Flujo de caja acumulado	10846.86	13621.04	16686.24	20072.05	23811.04
VAN	3974.30	5398.49	6911.56	8518.61	10225.03
TIR	7.75%	8.60%	9.34%	9.98%	10.55%

Año	21	22	23	24	25
Energía (*)					
Energía disponible en paneles solares	1449.11	1441.90	1434.73	1427.59	1420.49
Energía Total para autoconsumo	1365.06	1378.71	1392.50	1406.43	1420.49
Energía autoconsumo directo	1365.06	1378.71	1392.50	1406.43	1420.49
Energía almacenada y consumida					
Pérdidas del sistema de almacenamiento					
Energía adquirida de la red	1786.69	1804.55	1822.60	1840.83	1859.23
Consumos (*)					
Consumo total	3151.75	3183.27	3215.10	3247.25	3279.72
Autoconsumo	1365.06	1378.71	1392.50	1406.43	1420.49
Consumo de la Red	1786.69	1804.55	1822.60	1840.83	1859.23
Presupuesto anual (**)					
Ingresos Total	4276.56	4708.06	5183.11	5706.08	6281.83
Ahorro de factura	4276.56	4708.06	5183.11	5706.08	6281.83
Costo de operación	148.59	151.57	154.60	157.69	160.84
Costes periódicos	148.59	151.57	154.60	157.69	160.84
Ingresos Netos	4127.96	4556.50	5028.51	5548.39	6120.98
Flujo de caja	4127.96	4556.50	5028.51	5548.39	6120.98
Flujo de caja acumulado	27939.08	32495.66	37524.27	43072.76	49193.86
VAN	12036.56	13959.23	15999.47	18164.06	20460.18
TIR	11.04%	11.48%	11.87%	12.22%	12.53%

(*) La energía y los consumos están expresados en kWh (**) Los importes del presupuesto anual están expresados en S/.

Fuente: elaboración propia

Indicadores Económicos

Período de Recuperación:

El número de años necesarios para compensar la inversión mediante flujos de efectivo positivos es igual a 11 años.

VAN (Valor actual neto):

El valor actual neto (VAN) de los flujos de efectivo de series temporales, tanto entrantes como salientes y considerando una expectativa de vida de 25 años, es igual a **S/. 20460.18**

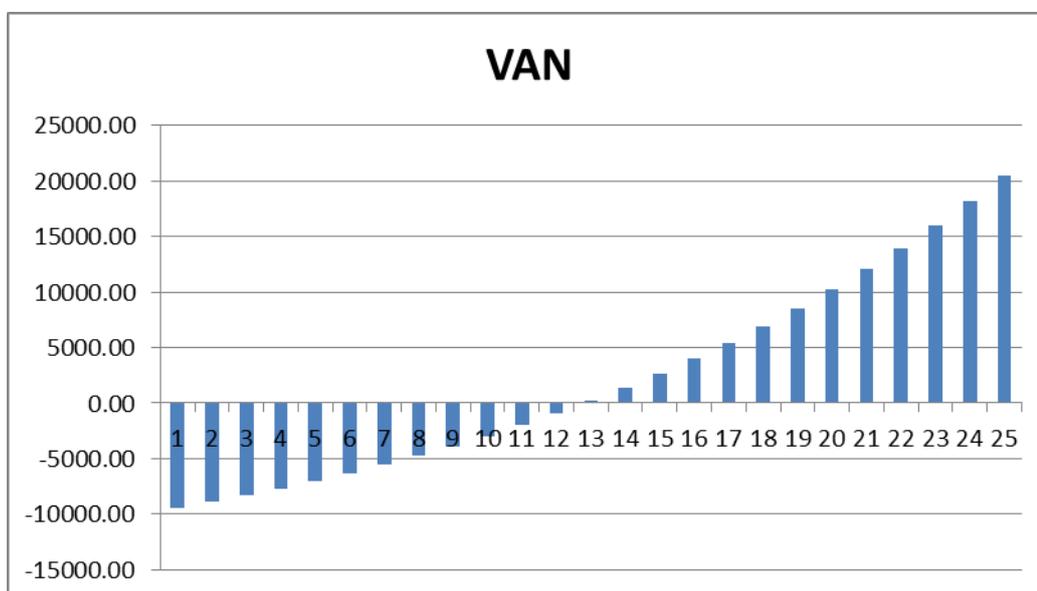


Fig.16 Valor Actual Neto del Flujo de Caja Acumulado

TIR (Tasa Interna de Retorno):

La Tasa Interna de Retorno, utilizada como un índice para medir y comparar la rentabilidad de la inversión, considerando una expectativa de vida de la instalación de 25 años, es igual a **12.53 %**.

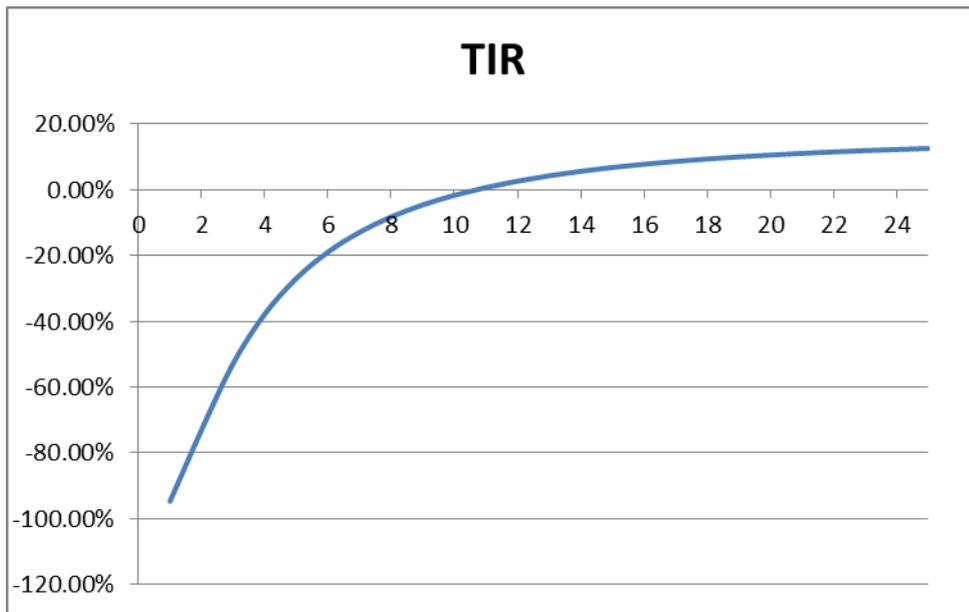


Fig. 17 Tasa Interna de Retorno

INGRESOS

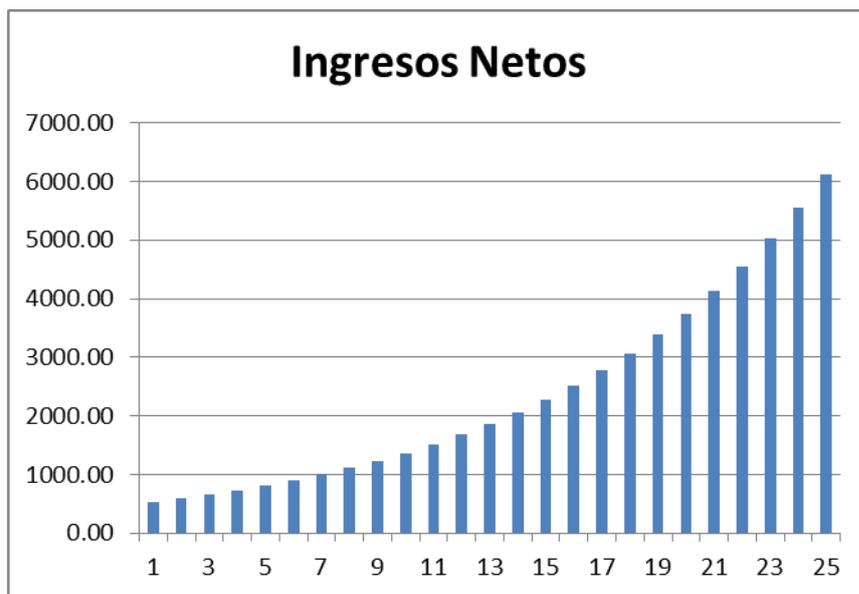


Fig.18 Ingresos Netos

FLUJO DE CAJA ACUMULADO:

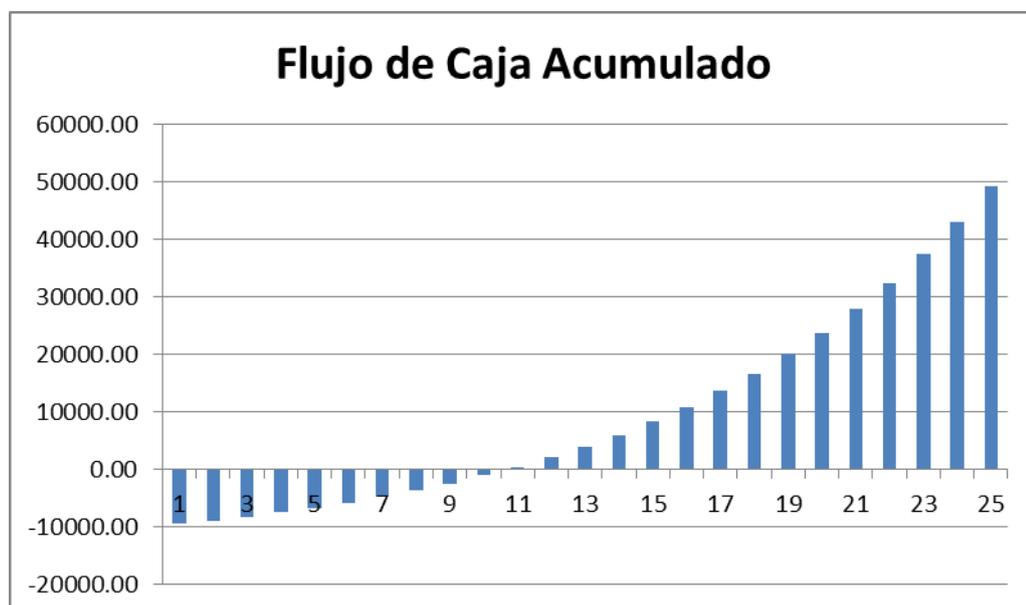


Fig.19 Flujo de Caja Acumulado

Tabla 36. Presupuesto de SFV Autoconsumo Directo con financiamiento

Monto SFV Autoconsumo Directo	S/. 9,946.09
TE Anual	25.05%
TE Mensual	1.88%
Período = 4 años	48 meses

	Préstamo Bancario para SFV autoconsumo directo		
	50%	75%	100%
Cuota Mensual	S/. 158.21	S/. 237.31	S/. 316.41
Total intereses	S/. 2,620.91	S/. 3,931.37	S/. 5,241.82
Período de Recuperación	12 años	13 años	14 años
VAN	S/. 18,541.91	S/. 17,582.79	S/. 16,623.63
TIR	11.81%	11.43%	11.02%

Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo con Almacenamiento

Tabla 37. Presupuesto anual de SFV Autoconsumo con Almacenamiento sin financiamiento

Año	1	2	3	4	5
Energía (*)					
Energía disponible en paneles solares	3092.07	3076.69	3061.38	3046.15	3030.99
Energía Total para autoconsumo	2160.49	2182.09	2203.91	2225.95	2248.21
Energía autoconsumida directamente	1118.75	1129.94	1141.24	1152.65	1164.18
Energía almacenada y consumida	992.13	1002.05	1012.07	1022.19	1032.41
Pérdidas del sistema de almacenamiento	49.61	50.10	50.60	51.11	51.62
Energía adquirida de la red	472.12	476.84	481.61	486.43	491.29
Consumos (*)					
Consumo total	2583.00	2608.83	2634.92	2661.27	2687.88
Autoconsumo	2110.88	2131.99	2153.31	2174.84	2196.59
Consumo de la Red	472.12	476.84	481.61	486.43	491.29
Presupuesto anual (**)					
Ingresos Total	1179.98	1299.04	1430.12	1574.41	1733.27
Ahorro de factura	1179.98	1299.04	1430.12	1574.41	1733.27
Costo de operación	100.00	102.00	104.04	106.12	108.24
Costes periódicos	100.00	102.00	104.04	106.12	108.24
Ingresos Netos	1079.98	1197.04	1326.08	1468.29	1625.03
Flujo de caja	1079.98	1197.04	1326.08	1468.29	1625.03
Flujo de caja acumulado	-20701.06	-19504.02	-18177.94	-16709.65	-15084.62
VAN	-20742.60	-19635.86	-18456.99	-17201.88	-15866.23
TIR	-95.04%	-73.95%	-54.13%	-39.31%	-28.49%

Año	6	7	8	9	10
Energía (*)					
Energía disponible en paneles solares	3015.91	3000.91	2985.98	2971.12	2956.34
Energía Total para autoconsumo	2270.69	2293.40	2316.33	2339.50	2362.89
Energía autoconsumida directamente	1175.82	1187.58	1199.45	1211.45	1223.56
Energía almacenada y consumida	1042.74	1053.17	1063.70	1074.33	1085.08
Pérdidas del sistema de almacenamiento	52.14	52.66	53.18	53.72	54.25
Energía adquirida de la red	496.20	501.16	506.18	511.24	516.35
Consumos (*)					
Consumo total	2714.76	2741.91	2769.33	2797.02	2824.99
Autoconsumo	2218.56	2240.74	2263.15	2285.78	2308.64
Consumo de la Red	496.20	501.16	506.18	511.24	516.35
Presupuesto anual (**)					
Ingresos Total	1908.16	2100.69	2312.65	2546.00	2802.89
Ahorro de factura	1908.16	2100.69	2312.65	2546.00	2802.89
Costo de operación	110.41	112.62	114.87	117.17	119.51
Costes periódicos	110.41	112.62	114.87	117.17	119.51
Ingresos Netos	1797.75	1988.08	2197.78	2428.83	2683.38
Flujo de caja	1797.75	1988.08	2197.78	2428.83	2683.38
Flujo de caja acumulado	-13286.87	-11298.79	-9101.01	-6672.17	-3988.79
VAN	-14445.44	-12934.66	-11328.76	-9622.30	-7809.50
TIR	-20.48%	-14.42%	-9.74%	-6.05%	-3.09%

Año	11	12	13	14	15
Energía (*)					
Energía disponible en paneles solares	2941.63	2927.00	2912.44	2897.95	2883.53
Energía Total para autoconsumo	2386.52	2410.39	2434.49	2458.84	2483.42
Energía autoconsumida directamente	1235.80	1248.15	1260.64	1273.24	1285.97
Energía almacenada y consumida	1095.93	1106.89	1117.96	1129.14	1140.43
Pérdidas del sistema de almacenamiento	54.80	55.34	55.90	56.46	57.02
Energía adquirida de la red	521.51	526.73	532.00	537.32	542.69
Consumos (*)					
Consumo total	2853.24	2881.77	2910.59	2939.69	2969.09
Autoconsumo	2331.72	2355.04	2378.59	2402.38	2426.40
Consumo de la Red	521.51	526.73	532.00	537.32	542.69
Presupuesto anual (**)					
Ingresos Total	3085.70	3397.05	3739.81	4117.16	4532.58
Ahorro de factura	3085.70	3397.05	3739.81	4117.16	4532.58
Costo de operación	121.90	124.34	126.82	129.36	131.95
Costes periódicos	121.90	124.34	126.82	129.36	131.95
Ingresos Netos	2963.80	3272.71	3612.99	3987.80	4400.63
Flujo de caja	2963.80	3272.71	3612.99	3987.80	4400.63
Flujo de caja acumulado	-1024.99	2247.73	5860.71	9848.51	14249.15
VAN	-5884.27	-3840.14	-1670.28	632.58	3076.09
TIR	-0.68%	1.30%	2.96%	4.35%	5.54%

Año	16	17	18	19	20
Energía (*)					
Energía disponible en paneles solares	2869.18	2854.91	2840.71	2826.57	2812.51
Energía Total para autoconsumo	2508.26	2533.34	2558.67	2584.26	2610.10
Energía autoconsumida directamente	1298.83	1311.82	1324.94	1338.19	1351.57
Energía almacenada y consumida	1151.83	1163.35	1174.98	1186.73	1198.60
Pérdidas del sistema de almacenamiento	57.59	58.17	58.75	59.34	59.93
Energía adquirida de la red	548.12	553.60	559.13	564.73	570.37
Consumos (*)					
Consumo total	2998.78	3028.77	3059.06	3089.65	3120.55
Autoconsumo	2450.67	2475.17	2499.92	2524.92	2550.17
Consumo de la Red	548.12	553.60	559.13	564.73	570.37
Presupuesto anual (**)					
Ingresos Total	4989.92	5493.40	6047.69	6657.90	7329.68
Ahorro de factura	4989.92	5493.40	6047.69	6657.90	7329.68
Costo de operación	134.59	137.28	140.02	142.82	145.68
Costes periódicos	134.59	137.28	140.02	142.82	145.68
Ingresos Netos	4855.33	5356.12	5907.66	6515.07	7184.00
Flujo de caja	4855.33	5356.12	5907.66	6515.07	7184.00
Flujo de caja acumulado	19104.48	24460.60	30368.26	36883.33	44067.33
VAN	5668.39	8418.08	11334.27	14426.60	17705.28
TIR	6.56%	7.44%	8.20%	8.87%	9.45%

Año	21	22	23	24	25
Energía (*)					
Energía disponible en paneles solares	2798.52	2784.59	2770.74	2756.96	2743.24
Energía Total para autoconsumo	2636.20	2662.57	2689.19	2716.08	2743.24
Energía autoconsumida directamente	1365.09	1378.74	1392.53	1406.45	1420.52
Energía almacenada y consumida	1210.59	1222.69	1234.92	1247.27	1259.74
Pérdidas del sistema de almacenamiento	60.53	61.13	61.75	62.36	62.99
Energía adquirida de la red	576.08	581.84	587.66	593.53	599.47
Consumos (*)					
Consumo total	3151.75	3183.27	3215.10	3247.25	3279.72
Autoconsumo	2575.67	2601.43	2627.45	2653.72	2680.26
Consumo de la Red	576.08	581.84	587.66	593.53	599.47
Presupuesto anual (**)					
Ingresos Total	8069.24	8883.43	9779.77	10766.55	11852.89
Ahorro de factura	8069.24	8883.43	9779.77	10766.55	11852.89
Costo de operación	148.59	151.57	154.60	157.69	160.84
Costes periódicos	148.59	151.57	154.60	157.69	160.84
Ingresos Netos	7920.65	8731.86	9625.17	10608.86	11692.05
Flujo de caja	7920.65	8731.86	9625.17	10608.86	11692.05
Flujo de caja acumulado	51987.98	60719.84	70345.01	80953.87	92645.91
VAN	21181.13	24865.59	28770.77	32909.51	37295.40
TIR	9.97%	10.43%	10.84%	11.21%	11.54%

(*) La energía y los consumos están expresados en kWh (**) Los importes del presupuesto anual están expresados en S/.

Fuente: elaboración propia.

Indicadores Económicos

Período de Recuperación:

El número de años necesarios para compensar la inversión mediante flujos de efectivo positivos es igual a 12 años.

VAN (Valor actual neto):

El valor actual neto (VAN) de los flujos de efectivo de series temporales, tanto entrantes como salientes y considerando una expectativa de vida de 25 años, es igual a **S/. 37295.40**

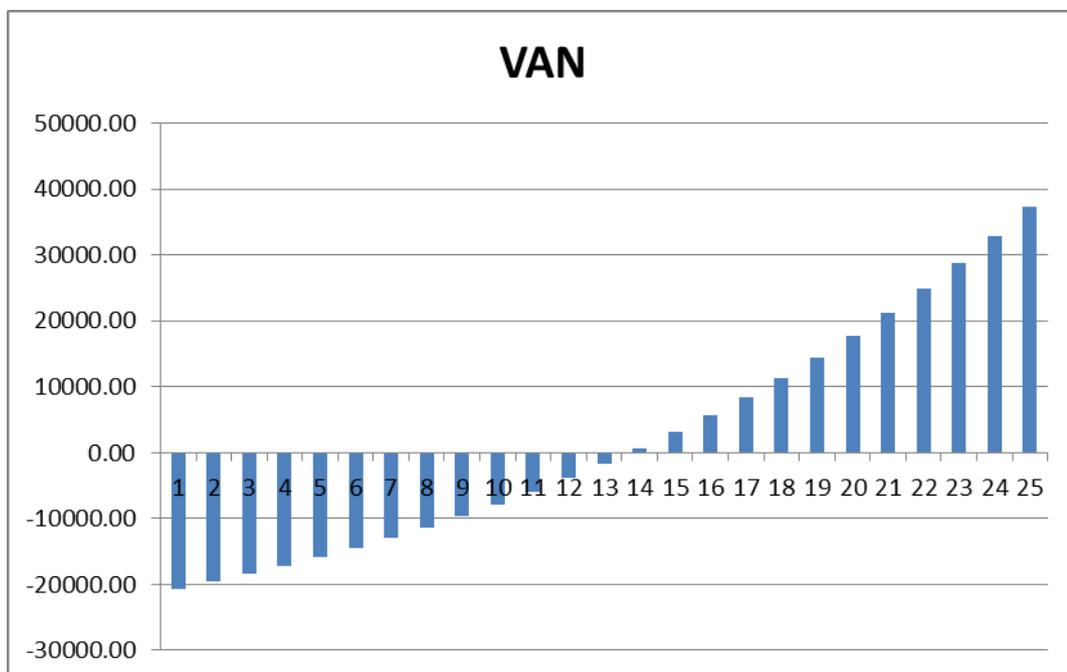


Fig.20 Valor Actual Neto del Flujo de Caja Acumulado

TIR (Tasa Interna de Retorno):

La Tasa Interna de Retorno, utilizada como un índice para medir y comparar la rentabilidad de la inversión, considerando una expectativa de vida de la instalación de 25 años, es igual a **11.54 %**.

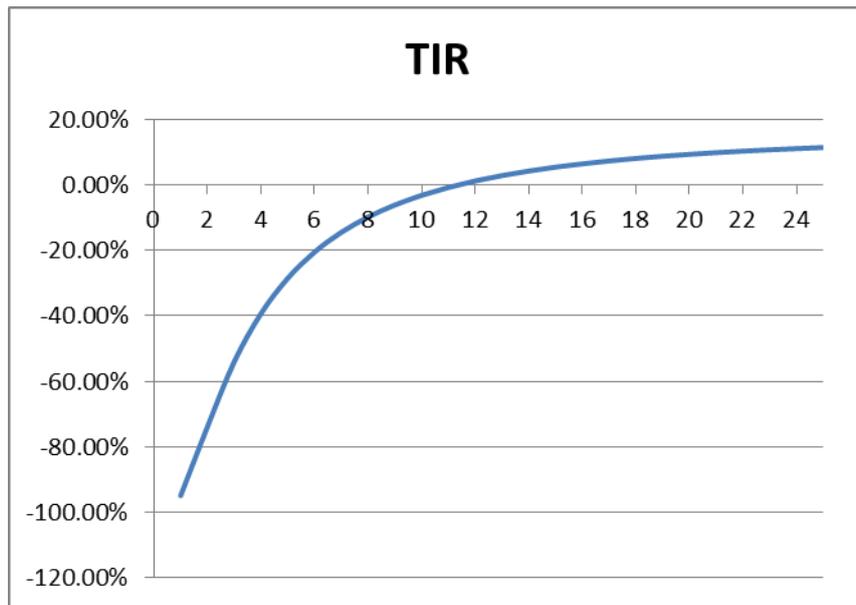


Fig. 21 Tasa Interna de Rtorno

INGRESOS

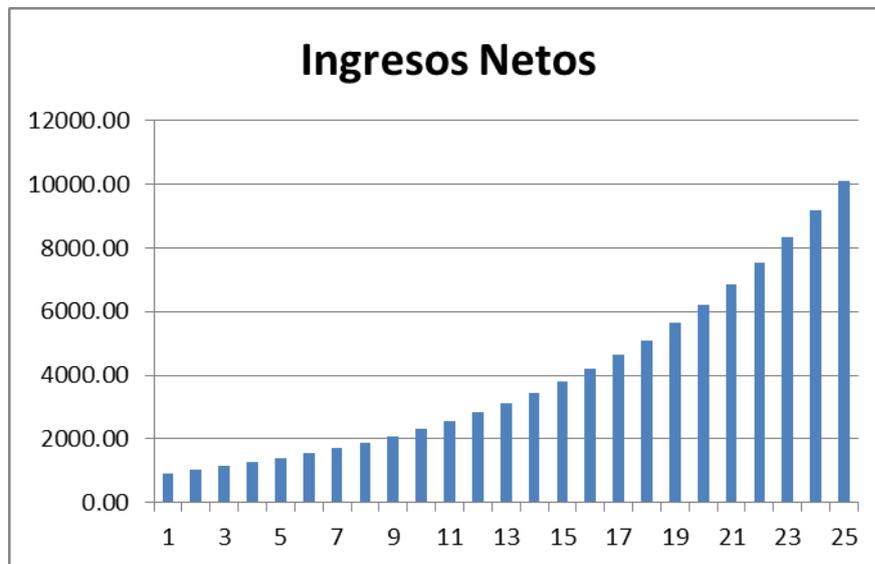


Fig.22 Ingresos Netos

FLUJO DE CAJA ACUMULADO:

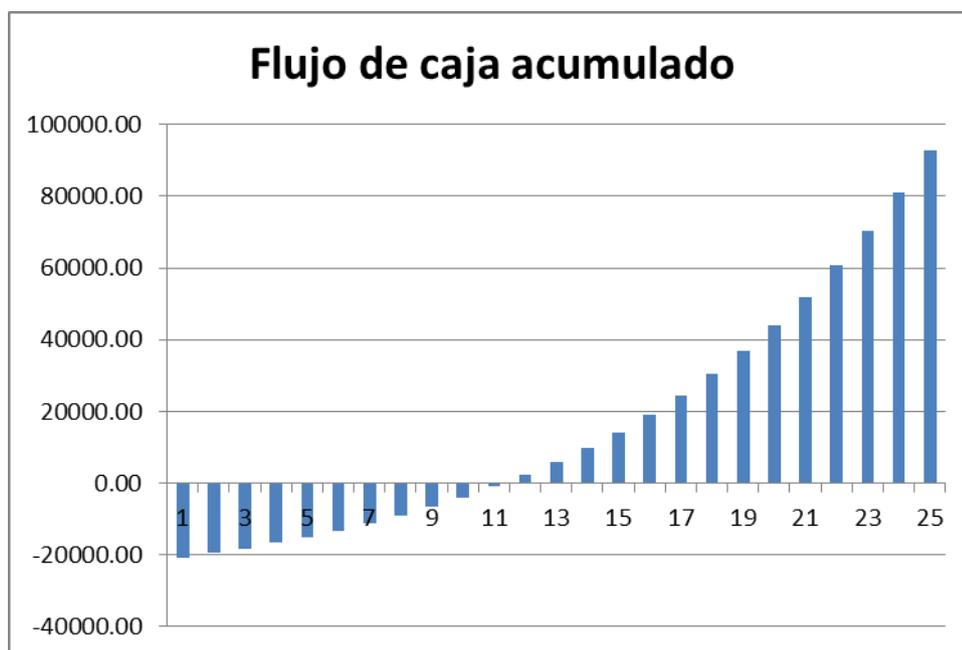


Fig.23 Flujo de Caja Acumulado

Tabla 38. Presupuesto de SFV Autoconsumo con Almacenamiento, con financiamiento

Monto SF Autoconsumo con almacenamiento	S/. 21,781.04
TE Anual	25.05%
TE Mensual	1.88%
Período = 4 años	48 meses

	Préstamo Bancario para SFV autoconsumo con almacenamiento		
	50%	75%	100%
Cuota Mensual	S/. 346.46	S/. 519.69	S/. 692.92
Total intereses	S/. 5,739.56	S/. 8,609.34	S/. 11,479.12
Período de Recuperación	13 años	14 años	15 años
VAN	S/. 33,094.55	S/. 30,994.13	S/. 28,893.71
TIR	10.73%	10.31%	9.87%

Resultados de la Variable Viabilidad Económica (VE):

Tabla 39. Indicador y unidad de medida de variable V5

		Autoconsumo Directo				
		Sin Financiam.	Con Financiamiento			
			50%	75%	100%	
V5 (VE)	Período de Recuperación	11 años	12 años	13 años	14 años	
	VAN	S/. 20,460.18	S/. 18,541.91	S/. 17,582.79	S/. 16,623.63	
		\$ 6,256.94	\$ 5,670.31	\$ 5,377.00	\$ 5,083.68	
	TIR	12.53%	11.81%	11.43%	11.02%	
	Autoconsumo con Almacenamiento					
			Sin Financiam.	Con Financiamiento		
				50%	75%	100%
		Período de Recuperación	12 años	13 años	14 años	15 años
	VAN	S/. 37,295.40	S/. 33,094.55	S/. 30,994.13	S/. 28,893.71	
		\$ 11,405.32	\$ 10,120.66	\$ 9,478.33	\$ 8,836.00	
	TIR	11.54%	10.73%	10.31%	9.87%	

Las dos alternativas de autoconsumo presentan un tiempo de recuperación de la inversión que las convierte en rentables; Sin embargo los costos iniciales de compra e instalación de los sistemas fotovoltaicos es un factor crucial para la difusión de esta tecnología de Recursos energéticos renovables, siendo el sistema de autoconsumo directo más accesible, pero de menor producción de energía y de ahorro.

El financiamiento del 50% del costo de los sistemas fotovoltaicos, mediante un préstamo bancario, sería el más conveniente, ya que los intereses no son muy elevados, y los indicadores económicos (Período de recuperación, VAN, TIR) son casi iguales a la inversión sin financiamiento.

El Perú mantiene una economía estable y en concordancia a ello se considera una Tasa de descuento de 4%. No es conveniente la inversión con tasas de descuento altas, debido a que se alargan los años con valores negativos de VAN.

La TIR de la inversión en las dos alternativas de sistemas FV es positiva y mayor a la Tasa de Descuento, lo que confirma la rentabilidad. La TIR del Sistema de Autoconsumo Directo es más alta, debido a su menor costo. A medida que los

precios de los componentes de los sistemas fotovoltaicos disminuyan, la TIR de la inversión será mayor.

ANALISIS Y DISCUSION

La investigación que tuvo como objetivo general Determinar el sistema alternativo de generación eléctrica mediante paneles solares, para autoconsumo en las viviendas del sector urbano de Chimbote, reducir el pago por consumo de energía eléctrica de la red pública, conservar el medio ambiente, y determinar la viabilidad económica de la inversión; respecto a la variable **Sistema Fotovoltaico**, se coincide con Manfred (2006), cuando indica que la energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio Peruano y que en términos generales, se dispone en promedio anual, de 4 a 5 kWh/m² día en la costa. El valor de la irradiación solar anual para Chimbote, que se obtuvo de la Base de datos de Meteonorm, indicó un valor máximo de 6.86 kWh/m² para el mes de enero y un valor mínimo de 4.51 kWh/m² para el mes de Julio. Para el cálculo de la Potencia (kWp) y número de paneles solares, se consideró el valor mínimo, por ser la condición más desfavorable, y así no tener inconvenientes con la generación del sistema fotovoltaico por variaciones de la irradiación solar, debido a cambios de estación, y en días nublados. Manfred (2006), también sostiene que, la energía solar incidente en pocos metros cuadrados es, en principio, suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de una familia, lo cual se confirma con los resultados obtenidos del área requerida para los paneles solares de los sistemas de autoconsumo directo y autoconsumo con almacenamiento, cuyos valores son 6.55 m² y 11.51 m², respectivamente.

El Sistema Fotovoltaico conectado a Red (SFcR) de autoconsumo directo, consta de 4 paneles solares de 270 Wp, Inversor Híbrido (todo-en-uno) de 1.5 kW, Analizador de Red antivertido, accesorios, instalación, con un costo total de 9,209.34 S/. / kWp (2,861.31 US\$ / kWp). El Sistema Fotovoltaico conectado a Red (SFcR) de autoconsumo con almacenamiento, consta de 6 paneles solares de 320 Wp, Inversor Híbrido (todo-en-uno) de 1.5 kW, Batería de Litio de 3.3 kWh, accesorios, instalación, con un costo total de 11,344.29 S/. / kWp (3,469.20 US\$ / kWp). El costo del sistema FV de Autoconsumo con almacenamiento se incrementa en 118.99% respecto al costo del Autoconsumo Directo, debido al precio de la Batería que representa el 40% del

equipamiento (ver tabla 18), y también al aumento de paneles necesarios para el almacenamiento de energía.

Tinoco & Huamaní, en el año 2013, realizaron un estudio piloto de instalación de 500 sistemas fotovoltaicos domiciliarios, conectados a la red, en la zona urbana de la ciudad de Lima-Perú, que considera intercambio de energía con la red sin almacenamiento en baterías, obteniendo un costo por vivienda de 4,240.00 US\$/kWp. Beltrán, Tinajeros & Morante, en el año 2016, realizaron el análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a red para exportar toda la energía generada hacia ella (sin almacenamiento en baterías) de 3,3 kW, instalado en la escuela profesional de Física de la Universidad Nacional de San Agustín-Arequipa, obteniendo un costo del SFcR igual a 3257.82 US\$/kWp. Estos costos, guardan coherencia con los obtenidos en nuestro estudio, observándose que con el sistema de autoconsumo directo, el costo es menor, y con el sistema de autoconsumo con almacenamiento (con Batería), el costo es menor que el de Tinoco & Huamaní y casi igual al de Beltrán, Tinajeros & Morante; Esto corrobora la disminución acelerada del precio de los componentes de los sistemas fotovoltaicos, siendo la batería el componente más caro.

En relación a la variable **autoconsumo**, coincidimos con Swanson (2009), quien Define que el autoconsumo fotovoltaico hace referencia a la producción individual de electricidad para el propio consumo, a través de paneles solares fotovoltaicos y que esta práctica puede ser llevada a cabo por individuos, familias, empresas, centros públicos, etc., siempre y cuando la electricidad producida solo la utilicen los mismos. Que el sistema tecnológico que se utiliza para generar la electricidad es denominado sistema de autoconsumo. Igualmente coincidimos con Energética (2015), cuando indica que, para aprovechar al máximo el autoconsumo fotovoltaico con vertido cero, se requiere gestionar de forma inteligente las cargas y que si no podemos almacenar la energía que producimos, se debe gestionar los equipos consumidores para que así lo hagan. Asimismo indica que este sistema tiene detrás un gran desarrollo técnico que hacen fácil que una instalación de autoconsumo eléctrico mediante fotovoltaica, aproveche al máximo su producción e incluso no verter a la Red los excedentes y que en España hace tiempo (enero de 2012), y en Portugal recientemente, han desaparecido

las primas a la energía fotovoltaica en el sector residencial, por lo que la fotovoltaica ha pasado de ser un instrumento financiero a ser una medida de ahorro energético. Que, el nuevo salto que empieza es propiciar al autoconsumo residencial la gestión energética de toda la vivienda, lo cual se consigue instalando un sistema de almacenamiento y/o un sistema de control de cargas.

Al respecto, debemos indicar que, la gestión inteligente con un sistema de control de cargas, para nuestro propósito encarecería más el costo de la inversión, ya que se requiere de un equipo de gestión energética; Por lo que, optamos por la inclusión de un analizador de red antivertido, para los sistemas de autoconsumo directo y autoconsumo con almacenamiento, conectados a Red. El autoconsumo con almacenamiento sin inyección a la red, nos permite almacenar energía en el día, para utilizarla en horas nocturnas. Los costos de producción de energía obtenidos en nuestro estudio son los siguientes: Sistema de autoconsumo directo igual a 0.315 S/. / kWh (0.096 US\$/kWh), Sistema de autoconsumo con almacenamiento igual a 0.357 S/. / kWh (0.109 US\$/kWh); ambos costos están por debajo de la tarifa BT5B de la red de la empresa de electricidad local (HIDRANDINA S.A.), cuyo valor para el año 1 es de 0.559 S/. / kWh (0.171 US\$ / kWh). La diferencia se irá acentuando, toda vez que el costo de producción de los sistemas FV de autoconsumo se mantendrá constante durante los 25 años de su vida útil, mientras que la tarifa de la red se irá incrementando anualmente. Estos resultados coinciden con Beltrán, Tinajeros & Morante (2016), quienes obtuvieron un costo de producción de 0,10 US\$/kWh, menor a la tarifa BT5B de la empresa de electricidad de Arequipa, cuyo valor es de 0,154 US\$/kWh. Esto confirma que el costo de producción de los sistemas fotovoltaicos de autoconsumo ya ha alcanzado la paridad con la tarifa de la red eléctrica.

Respecto a la variable **reducción del pago mensual**, coincidimos con Energética (2015) que indica, que la generación fotovoltaica para autoconsumo, es una forma eficaz de protegerse de las continuas subidas de los precios de la electricidad. Se coincide con Marcos (2013), que indica, que la inversión inicial de un sistema fotovoltaico de autoconsumo puede variar, en función de la superficie de la vivienda y de la energía que se vaya a utilizar, pero “esta inversión se recupera a lo largo del

tiempo gracias al ahorro que se produce”. confirma que el ahorro medio que puede obtener una familia es del 70 % sobre la factura de la electricidad. También coincidimos con Energética Futura (2012), que indica: “el autoconsumo con tecnologías renovables permite aprovechar unos recursos naturales, autóctonos, gratuitos e ilimitados; En base a las experiencias internacionales, el autoconsumo permitiría unos ahorros en la factura eléctrica superiores al 70%”. Coincidimos con Marcelo (2014), que indica, que instaló un sistema de generación de electricidad a través de paneles solares que le permitirá abastecer el consumo de su vivienda y aportar el remanente al tendido de la Empresa Provincial de la Energía (EPE); “En poco tiempo reduje el consumo en un 40%, un sistema FV domiciliario, en la zona central del país (Argentina), de sólo 1,5 kW podría hacer ahorrar unos 2200 kWh anuales”.

En nuestro caso, con un Sistema Fotovoltaico conectado a Red (SFcR) sin vertido (sin inyección), obtuvimos un ahorro de energía anual (año 1), de 1118.73 kWh con Autoconsumo Directo y 2160.49 kWh con Autoconsumo con Almacenamiento, equivalente a un ahorro en el recibo de luz, de 43.31% y 81.72%, respectivamente. Con el sistema FV con almacenamiento se cubre el 81.72% del consumo de las cargas de la vivienda, siendo casi el doble del porcentaje que se cubre con autoconsumo directo, lo cual significa un mayor ahorro en el pago mensual del recibo de Luz.

Respecto a la variable **conservación del medio ambiente**, precisamos que, el Ahorro de Energía con sistemas fotovoltaicos de autoconsumo, también tiene un impacto significativo y de suma importancia en el Ahorro de combustible y emisión de gases evitadas. Las Centrales de generación de electricidad en base a combustibles fósiles son una fuente importante de emisión de gases de efecto invernadero; Es por ello que coincidimos con Chavarría (2010), que sostiene, que la definición de las energías renovables se puede entender como aquellas que permiten satisfacer las necesidades energéticas presentes sin poner en compromiso las necesidades de energía de las generaciones futuras y de los países en desarrollo. Coincidimos con Chavarría (2010), quien sostiene que, el consumo masivo de recursos energéticos de origen fósil, agotables y contaminantes plantea el problema de encontrar nuevas fuentes de energía que sustituyan al carbón, al petróleo, al gas natural y al uranio cuando se agoten los

yacimientos actuales y los que se puedan encontrar en el futuro. Las nuevas fuentes de energía deben ser renovables y no contaminantes para evitar los inconvenientes del actual modelo de consumo energético y poder alcanzar el cumplimiento del Protocolo de Kyoto. Coincidimos con Energética (2012), que indica que, El autoconsumo con sistemas fotovoltaicos contribuye decididamente contra el calentamiento global del planeta, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero CO₂, SO₂ y NO_x, no genera residuos y se trata de una herramienta básica para reducir la huella de carbono. Una instalación de 1,5 kilovatios renovables evita la misma emisión de CO₂ que absorbe un bosque con 135 árboles.

En el Perú el sector Energía contribuye con el 15% del total de emisiones – se considera erróneamente que el gas natural es una fuente de energía limpia y no lo es, cada kg de metano (el gas principal de Camisea) quemado produce 2.75kg del gas invernadero CO₂; Es por ello, de suma importancia y prioridad recurrir a la generación de energía eléctrica procedente de Recursos Energéticos Renovables no contaminantes. En los sistemas fotovoltaicos considerados en el presente estudio, obtuvimos los siguientes resultados: Ahorro de combustible en 25 años igual a 6.95 TOE con autoconsumo directo, y 13.42 TOE con autoconsumo con almacenamiento; Emisión de gases evitadas en 25 años igual a 17.28 Ton CO₂ con autoconsumo directo, y 33.38 Ton CO₂ con autoconsumo con almacenamiento. Estos valores coinciden con Tinoco & Huamaní (2013), quienes en su estudio obtuvieron una emisión de gases evitadas de 0.85247 Ton. de CO₂ para 1 año, lo cual equivaldría a 21.31 Ton CO₂ en 25 años. Podemos apreciar que la contribución de una sola vivienda con sistema de generación FV, es bastante significativa en toda su vida útil de 25 años. Es por ello, que en un futuro muy cercano, la tendencia será que las viviendas se conviertan en generadoras de energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos de autoconsumo.

Respecto a la variable **Viabilidad económica** de la inversión, coincidimos con Swanson (2009), quien indica, que gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el coste de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales y su coste medio de generación eléctrica ya es competitivo con las fuentes de energía

convencionales en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red. El coste de la electricidad solar ha disminuido lo suficiente para alcanzar el momento en el que se realizan instalaciones aunque no se incentive mediante subsidios. Coincidimos con Beltrán, Tinajeros & Morante (2016), quienes indican, que realizaron el análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a red para exportar toda la energía generada hacia ella (sin autoconsumo) de 3,3 kW, instalado en la escuela profesional de Física de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, que permitió verificar si la instalación proyectada en el tiempo será suficientemente rentable. Los resultados obtenidos muestran la viabilidad económica del SFcR en Arequipa: La tasa interna de retorno (TIR) del proyecto es 10,7%. El valor actual neto (VAN) tiene un valor de 10.708 US\$. Los flujos de caja empiezan a ser positivos a los 11,6 años. No es atractivo invertir cuando la tasa de descuento supere el 8%.

Los resultados de viabilidad económica (rentabilidad) para nuestro estudio son: El periodo de recuperación para autoconsumo directo y autoconsumo con almacenamiento es igual a 11 años y 12 años, respectivamente. El Valor Actual Neto (VAN) para autoconsumo directo y autoconsumo con almacenamiento es igual a S/. 20,460.18 (US\$ 6,256.94) y S/. 37,295.40 (US\$ 11,405.32), respectivamente. La Tasa Interna de Retorno (TIR) para autoconsumo directo y autoconsumo con almacenamiento es igual a 12.53% y 11.54%, respectivamente; Estos indicadores corresponden a la inversión sin financiamiento. Con el financiamiento del 50% mediante un préstamo bancario, se obtienen indicadores muy similares a la inversión sin financiamiento, y los intereses a pagar en un período de 4 años no son muy elevados, por lo que constituye una buena opción.

Las dos alternativas de autoconsumo presentan un tiempo de recuperación de la inversión que las convierte en rentables; Sin embargo los costos iniciales de compra e instalación de los sistemas fotovoltaicos es un factor crucial para la viabilidad económica y difusión de esta tecnología de Recursos energéticos renovables, siendo el sistema de autoconsumo directo más accesible, pero de menor producción de energía

y de ahorro. Con incentivos fiscales y comerciales el período de recuperación de la inversión se reduciría considerablemente.

El Perú mantiene una economía estable y en concordancia a ello se considera una Tasa de descuento de 4%. No es conveniente la inversión con tasas de descuento altas, debido a que se alargan los años con valores negativos de VAN.

La TIR de la inversión en las dos alternativas de sistemas FV es positiva y mayor a la Tasa de Descuento, lo que confirma la rentabilidad. La TIR del Sistema de Autoconsumo Directo es más alta, debido a su menor costo. A medida que los precios de los componentes de los sistemas fotovoltaicos disminuyan, la TIR de la inversión será mayor.

CONCLUSIONES

Se ha logrado determinar el sistema alternativo de generación eléctrica mediante paneles solares, para autoconsumo en las viviendas del sector urbano de Chimbote, que permitirá reducir el pago por consumo de energía eléctrica de la red pública,

conservar el medio ambiente y la viabilidad económica de la inversión, de acuerdo a los resultados que se detallan a continuación:

El **sistema fotovoltaico** de autoconsumo directo y autoconsumo con almacenamiento, se determinó considerando una irradiación solar diaria mínima de 4.51 kWh/m². El costo del sistema de autoconsumo directo es 9,209.34 S/. / kWp (2,861.31 US\$ / kWp) y del sistema de autoconsumo con almacenamiento 11,344.29 S/. / kWp (3,469.20 US\$ / kWp). Los Sistemas fotovoltaicos de autoconsumo considerados en el presente estudio son con conexión a la Red pública, pero sin inyección de energía hacia ella (inyección cero o antivertido); Esto debido a que aún no se ha reglamentado en el Perú la conexión de los Sistemas FV con la Red. Sin embargo esto no es impedimento, debido a que se trata de un ahorro energético; Es decir, que equivale a la compra de un artefacto electrodoméstico que en vez de consumir, ahorra energía, y no altera los parámetros eléctricos de la red eléctrica. El factor crucial para la decisión de implementar un sistema de autoconsumo es el costo de la inversión inicial, pero esto será superado por la disminución de los precios de los componentes, que se viene dando aceleradamente en los últimos años

El costo de la energía producida para **autoconsumo** directo y autoconsumo con almacenamiento es igual a 0.315 S/. / kWh (0.096 US\$ / kWh) y 0.357 S/. / kWh (0.109 \$ / kWh), respectivamente. El Costo de la energía producida con cualquiera de los dos sistemas fotovoltaicos, comparados con el costo de la tarifa BT5B Residencial (0.559 S/. / kWh = 0.171 US\$ / kWh), que se paga a la empresa de electricidad local, son menores desde el año 1, aumentando notoriamente la diferencia hasta el año 25, debido al incremento anual de las tarifas eléctricas, mientras que el costo de la energía producida con energía solar se mantiene igual, ya que es el resultado de dividir el costo total del sistema fotovoltaico entre la suma de la energía producida durante los 25 años de su vida útil.

La **reducción del pago** por consumo de energía eléctrica de la empresa de electricidad local, mediante la instalación de un sistema FV de autoconsumo en una vivienda, es bastante significativo, y protege al usuario de las continuas subidas de las tarifas de electricidad. Se obtuvo un ahorro de energía anual (año 1), de 1118.73 kWh

con Autoconsumo Directo y 2160.49 kWh con Autoconsumo con Almacenamiento, equivalente a un ahorro en el recibo de luz, de 43.31% y 81.72%, respectivamente.

El autoconsumo con sistemas fotovoltaicos contribuye a la **conservación del medio ambiente**, decididamente contra el calentamiento global del planeta. Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero CO₂, SO₂ y NO_x, porque desplaza a las centrales de generación de electricidad en base a combustibles fósiles. En los sistemas fotovoltaicos considerados en el presente estudio, obtuvimos los siguientes resultados: Ahorro de combustible en 25 años igual a 6.95 TOE con autoconsumo directo, y 13.42 TOE con autoconsumo con almacenamiento; Emisión de gases evitadas en 25 años igual a 17.28 Ton CO₂ con autoconsumo directo, y 33.38 Ton CO₂ con autoconsumo con almacenamiento.

La **viabilidad económica** (rentabilidad) para nuestro estudio, se muestra en los siguientes indicadores: El periodo de recuperación de la inversión, para autoconsumo directo y autoconsumo con almacenamiento es igual a 11 años y 12 años, respectivamente. El Valor Actual Neto (VAN) para autoconsumo directo y autoconsumo con almacenamiento es igual a S/. 20,460.18 (US\$ 6,256.94) y S/. 37,295.40 (US\$ 11,405.32), respectivamente. La Tasa Interna de Retorno (TIR) para autoconsumo directo y autoconsumo con almacenamiento es igual a 12.53% y 11.54%, respectivamente; ambas tasas están por encima de la Tasa de Descuento (4%). Las dos alternativas de autoconsumo presentan un tiempo de recuperación de la inversión que las convierte en rentables; Sin embargo los costos iniciales de compra e instalación de los sistemas fotovoltaicos es un factor crucial para la difusión de esta tecnología de Recursos energéticos renovables, siendo el sistema de autoconsumo directo más accesible, pero de menor producción de energía y de ahorro económico. A medida que los precios de los componentes de los sistemas fotovoltaicos disminuyan, el número de años necesarios para compensar la inversión mediante flujos de efectivo positivos disminuirá considerablemente y la TIR de la inversión será mayor.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda que los usuarios que no cuenten con disponibilidad económica para instalar un sistema fotovoltaico de autoconsumo conectado a red en su vivienda, podrían efectuarlo mediante un préstamo bancario a pagar en 4 años, con tasas de interés y cuotas mensuales que no son elevadas. Con esta

alternativa sería conveniente adquirir inicialmente el sistema de autoconsumo directo que es el mas económico, y luego de cancelar el préstamo adquirir los paneles solares adicionales y la batería de almacenamiento, implementando de esta manera un sistema de autoconsumo con almacenamiento, que permitirá un ahorro del 80% o mas en el recibo de luz. Esta alternativa se vería reforzada y con mayores beneficios económicos, toda vez que dentro de 4 años los precios de los componentes de un sistema fotovoltaico habrán disminuído considerablemente, incluyendo la batería de Litio que en la actualidad es el componente mas caro, a lo que se agrega la mayor eficiencia que tendrán por el avance tecnológico en su fabricación.

- ✓ Se recomienda que las empresas que decidan incursionar en la venta e instalación de sistemas de autoconsumo conectados a red, cuenten con el debido soporte técnico, que permita la elaboración de estudios técnico – económicos comparativos entre los diferentes proveedores y tecnologías de los componentes y accesorios de un sistema fotovoltaico, priorizando las marcas de reconocido prestigio, garantizando de esta manera la inversión del usuario y por ende la difusión del uso de esta tecnología.

- ✓ Para que los sistemas fotovoltaicos de autoconsumo conectados a red sean aún más rentables, el estado peruano debe implementar Normas Legales y de Regulación, para incentivar la inversión en este tipo de sistemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Circutor (2014). Herramientas para el dimensionado de instalaciones de autoconsumo con energía solar fotovoltaica. Artículo publicado el 03/06/2014. <https://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/14-04->

10_jornada%20sobre%20instalaciones%20solares%20de%20autoconsumo%20e%20n%20la%20comunidad%20de%20madrid/1-autoconsumo-directo-o-diferido-herramientas-para-la-correcta-seleccion-del-sistema-a-instalar-circutor-fenercom-2014

Chavarria, J. (2010). Diseño e Implementación de un Inversor Multinivel para Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red. Barcelona: Tesis de Master, Universitat Politècnica de Catalunya.

D.L. N° 1221, (2015). Mejora la regulación de la distribución de electricidad para promover el acceso a la energía eléctrica en el Perú. Publicado el 23/09/2015.

Electricidad, 2016 Revista Electricidad Generación - Transmisión – Distribución. Edición N° 31, Año VIII , pp. 56

Energética Futura (2012). “Debemos transformar las casas en centrales renovables”. España: Artículo publicado el 06/07/2012. <https://energeticafutura.com/blog/debemos-transformar-las-casas-en-centrales-renovables/>

Fernández, J. (2015). Cálculo del ángulo de inclinación para la instalación de paneles solares. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería. http://cursos.eie.ucr.ac.cr/IE1103_004/work/assig_12/Tarea1_A92388_1.pdf

Generación Fotovoltaica, SL. Energía Solar Fotovoltaica conectada a la red. www.generaciofotovoltaica.com

Greenpeace. Guía Solar, como disponer de energía solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica. www.greenpeace.es

Manfred, H. (2006). El estado actual del uso de la energía solar en el Perú. Lima: Publicado en “perúeconómico”, Lima, Vol XXIX, Nr.11, Nov. 2006: Los retos energéticos del Perú, pag 10 – 11.

MINEM, (2014). Plan Energético Nacional 2014 – 2025, Dirección General de Eficiencia Energética.

MINEM2, (2014). Balance Nacional de Energía, Ministerio de Energía y Minas.

Muñoz, D. (2005). Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país. Lima: Tesis de Ing. Mec. Elect., Universidad Nacional de Ingeniería.

Norma Técnica Peruana N.T.E. EM.080 Instalaciones con Energía Solar

Santa, S. (2014). “Diseño de una instalación fotovoltaica autónoma para la finca mis delirio en pereira – colombia”: Tesis de Master, Universidad Pública de Navarra.

Tinajeros, M.; Montoya, A; Palo, E.; Morante, F. (2015). Evaluación del desempeño de un sistema fotovoltaico conectado a red de 3.3 kw en la ciudad de Arequipa. Arequipa, Nov. 2015 XXII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXII-SPES).

Tinoco, H & Huamaní, N (2013). “microgeneracion distribuida con sistemas fotovoltaicos en viviendas urbanas para mitigar impactos ambientales”.Lima: Tesis de Master, Universidad Nacional de Ingeniería.

Twenergy (2015). Cómo aprovechar al máximo el autoconsumo fotovoltaico con vertido cero. España: Artículo publicado el 20/04/2015. <https://energeticafutura.com/blog/aprovechar-al-maximo-autoconsumo-fotovoltaico-vertido-cero/>

Twenergy (2016). ¿Y si te pasas al autoconsumo? España: Artículo publicado el 21/07/16. <https://twenergy.com/a/y-si-te-pasas-al-autoconsumo-2287>

APENDICES Y ANEXOS

Matriz de Indicadores

VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
SISTEMA FOTOVOLTAICO	SF	S/. / kWp

AUTOCONSUMO	AC	S/. / kWh
REDUCCION DE PAGO	RP	% de Ahorro
CONSERVACION DEL MEDIO AMBIENTE	CMA	TOE, Ton CO2
VIABILIDAD ECONOMICA	VE	Años, VAN, TIR

Anexo 1. Recibos de Consumo de Energía eléctrica de viviendas del Sector urbano de Chimbote – Tarifa residencial BT5B (151 a 300 kWh)

RECIBO Nº 551-21485805 Junio-2017
Chimbote, Santa - Ancash

Para Consultas, su código es: **48807820**

UCEDA ACOSTA REYNA
Sr. José Galvez 949 P.P. El Bolívar Bajo
JOSE GALVEZ 949

Hidrandina
CORPORACIÓN NACIONAL DE SERVICIO PÚBLICO DE ELECTRICIDAD ELECTRICIDAD DEL PERÚ S.A.
R.U.C. 20122023540

DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO		IMPORTE FACTURADOS	
Territorio	2017 - B1	Recibo por Consumo del 22/05/2017 al 21/06/2017	3.12
SUB. Entidad Nº	D-349304 (SE0119)	Cargos Fijos	1.28
Tipo de Consumo	Mixto (Mesa-Agua(0.1))	Cargos por Recargas y Mantenimiento	132.38
Opción Tarifaria	RT50 - No Residencial	Imp. Anual (21.5315) (26.080.198)	0.27
Módulo Nº	00000000670199 - Electr. Mesa	Módulo de Puntos (Mesa) (0.9480)	18.02
Mesa	3	Mesa Compensada	1.94
Unidad Anterior	46.443.00 (2017/04/2)	SUR TOTAL	149.96
Unidad Actual	46.728.00 (2017/06/2)	Imp. Gás. otros Ventos	30.52
Diferencia de Lectura	285.00	Imp. Mensual	0.81
Factor	1.0000	Sobrecor. Inicial	0.85
Consumo	285.00 kWh	Imp. sobre consumo de calidad de servicio	-2.55
Consumo Ponderado	357.17 kWh	Aplic. Ley No. 28140 - 0.80%	2.32
Potencia Contratada	1.00 kW	Imp. sobre el pago AFCE, Anual	-2.80
Índice Consumo	010319177	TOTAL DE CARGOS DE JUNIO 2017	162.31
Tarifa Consumo	2862.0119	Imp. sobre el pago AFCE, Mensual	22.12
Fecha Emisión	22/06/2017		

Gráfico de Consumo Facturado (kWh) - Meses 120 (0-1)

Proyecto / Unidad de Servicio Facturado
Mes: 2017 0 212 26 - Mes: 2017 0 213 13

Fecha Corte: 15/07/2017
Si paga hasta la fecha de vencimiento evitará el corte, gastos y molestias asociadas.

FECHA DE VENCIMIENTO: **14/07/2017** TOTAL A PAGAR: **S/ *****630.40**

¡EN EL INFORME MEDIANTE DECRETO SUPLENTO Nº 0056 - 2015 - PCM, EL GOBIERNO APROBÓ LA EJECUCIÓN DE LOS CENSOS NACIONALES 2017, DEL 10 DE FEBRERO AL 30 DE ABRIL, EN LAS COMUNIDADES INDÍGENAS, VISITA WWW.INCENAP.GOV

RECIBO Nº 551-21606988 Julio-2017
Nuevo Chimbote / Santa / Ancash

Para Consultas, su código es: **61562713**

Cueva Hernández, Gladys Karina
Mr. P. Lote 21 - Hob. Urb. P. Villa Santa Rosa del Sur 1 Etapa

Hidrandina
CORPORACIÓN NACIONAL DE SERVICIO PÚBLICO DE ELECTRICIDAD ELECTRICIDAD DEL PERÚ S.A.
R.U.C. 20122023540

DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO		IMPORTE FACTURADOS	
Territorio	2017 - B1	Recibo por Consumo del 27/06/2017 al 27/07/2017	3.11
SUB. Entidad Nº	D-349304 (SE0119)	Cargos Fijos	1.08
Tipo de Consumo	Mixto (Mesa-Agua(0.1))	Cargos por Recargas y Mantenimiento	60.01
Opción Tarifaria	RT50 - Residencial	Imp. Anual (21.5315) (26.080.198)	0.27
Módulo Nº	0000000143449 - Electr. Mesa	Módulo de Puntos (Mesa) (0.9480)	18.02
Mesa	2	Mesa Compensada	1.94
Unidad Anterior	956.30 (2016/06/3)	Aplic. Ley No. 28140 - 0.80%	8.28
Unidad Actual	956.30 (2017/07/3)	SUR TOTAL	118.77
Diferencia de Lectura	0.00	Imp. Gás. otros Ventos	1.87
Factor	1.0000	Imp. Mensual	0.84
Consumo	121.00 kWh	Sobrecor. Inicial	-0.50
Consumo Ponderado	221.78 kWh	Imp. sobre consumo de calidad de servicio	3.38
Potencia Contratada	1.00 kW	Aplic. Ley No. 28140 - 0.80%	0.50
Índice Consumo	025120117	TOTAL DE CARGOS DE JULIO 2017	31.98
Tarifa Consumo	2141.0919	Aplic. Ley No. 28140 - 0.80%	0.50
Fecha Emisión	28/07/2017		

Gráfico de Consumo Facturado (kWh) - Meses 120 (0-1)

Proyecto / Unidad de Servicio Facturado
Mes: 2017 0 212 26 - Mes: 2017 0 213 13

Fecha Corte: 22/08/2017

FECHA DE VENCIMIENTO: **22/08/2017** TOTAL A PAGAR: **S/ *****77.10**

¡EN EL INFORME MEDIANTE DECRETO SUPLENTO Nº 0056 - 2015 - PCM, EL GOBIERNO APROBÓ LA EJECUCIÓN DE LOS CENSOS NACIONALES 2017, DEL 10 DE FEBRERO AL 30 DE ABRIL, EN LAS COMUNIDADES INDÍGENAS, VISITA WWW.INCENAP.GOV

RECIBO Nº 551-21242646 Abril-2017

Chimbo, Santa - Ancash

Para Consultas, su código es: **49056843**

SOLANO C.CLAUDIO
 No. 12-11 PP-11 San Pedro
SAN PEDRO 12-11

Hidrandina
 EMPRESA REGIONAL DE SERVICIOS PÚBLICOS DE ELECTRICIDAD ELECTRONICOMI PERÚ S.A.
 O. Fiscal en Línea 100 - 1460
 R.U.C. 20112023540

DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO		IMPORTE FACTURADOS	
Tensión	220 V - B	Recibo por Consumo del Mes 03/2017 a 04/2017	1.11
Dat. Estación N°	D-146726 (SE0115)	Carga Fija	1.26
Tipo de Conexión	Monofásica-Aéreo(C.L.)	Carga por Tránsito y Mantenimiento	60.50
Dirección Tarifaria	ETSB - Residencial	Imp. Actividad 0.001 a 02.000.000	5.99
Módulo N°	0000000720703 - Electr.	Anualidad Pública (Módulo - 30.000)	0.00
Uñas	3	Multa Consumidora	58.00
Leerda Anterior	3.726.33 (03/01/2017)	GR TOTAL	127.86
Leerda Actual	3.847.35 (04/01/2017)	Imp. Gral. sin Verbal	0.73
Diferencia de Leerda	121.02	Saldo por acreditar	-0.24
Factor	1.0000	Interés de Retención	-0.01
Consumo	52.00 kWh	Aporte Ley No. 29489 - 0.001	0.00
Costo Promedio	13.63 kWh	TOTAL PAGO DE FEBRERO 2017	61.40
Potencia Contratada	1.00 kW	Débito Anterior (Trám. 3)	61.40
Índice Controlado	017591889	Aporte FOSB Ley N° 20512, 2º L.O.	0.00
Tarifa Controlada	31722017		
Fecha Emisión	25/04/2017		

Si paga hasta la fecha de vencimiento estará al corte, gastos y multas inherentes.

Fecha Corte: 19/05/2017

FECHA DE VENCIMIENTO **18/05/2017** TOTAL A PAGAR **S/ *****164.20**

RECIBO Nº 551-20934155 Febrero-2017

Chimbo, Santa - Ancash

Para Consultas, su código es: **48762915/**

Sifuentes Cerna Carlota
 Jr. Jose Olaya 228 Cort. Cercado
JR. JOSE OLAYA 228

Hidrandina
 EMPRESA REGIONAL DE SERVICIOS PÚBLICOS DE ELECTRICIDAD ELECTRONICOMI PERÚ S.A.
 O. Fiscal en Línea 100 - 1460
 R.U.C. 20112023540

DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO		IMPORTE FACTURADOS	
Tensión	220 V - B	Recibo por Consumo del Mes 01/2017 a 02/2017	0.11
Dat. Estación N°	D-342245 (SE0115)	Carga Fija	1.26
Tipo de Conexión	Monofásica-Aéreo(C.L.)	Carga por Tránsito y Mantenimiento	60.51
Dirección Tarifaria	ETSB - No Residencial	Imp. Actividad 0.001 a 02.000.000	5.99
Módulo N°	00000000171041 - Electr. Fijos	Anualidad Pública (Módulo - 30.000)	0.00
Uñas	3	Multa Consumidora	58.00
Leerda Anterior	14.567.00 (22/01/2017)	GR TOTAL	126.86
Leerda Actual	14.649.00 (02/02/2017)	Imp. Gral. sin Verbal	0.73
Diferencia de Leerda	82.00	Saldo por acreditar	-0.24
Factor	1.0000	Interés de Retención	-0.01
Consumo	62.00 kWh	Aporte Ley No. 29489 - 0.001	0.00
Costo Promedio	62.63 kWh	TOTAL PAGO DE FEBRERO 2017	61.40
Potencia Contratada	1.00 kW	Débito Anterior (Trám. 3)	61.40
Índice Controlado	2411/2007	Aporte FOSB Ley N° 20512, 2º L.O.	0.00
Tarifa Controlada	2371/2017		
Fecha Emisión	20/02/2017		

Si paga hasta la fecha de vencimiento estará al corte, gastos y multas inherentes.

Fecha Corte: 15/03/2017

FECHA DE VENCIMIENTO **14/03/2017** TOTAL A PAGAR **S/ *****128.30**

RECIBO Nº 551-20642825 Enero-2017
 Nuevo Chimbote, Santa - Ancash

Para Consulta, su código es: **49132112**

ALCANTARA C HILARIO
 Mz. 10-15, P.P. 11 de Mayo
1 DE MAYO 10-15

Hidrandina
 EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PÚBLICO DE
 ELECTRICIDAD ELECTRO NORTE PERÚ S.A.
 El Poder de Equilibrio: 100%
 R.U.C. 20132023540

DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO		IMPORTES FACTURADOS	
Tensión:	220 V - BT	Recibo por Consumo de:	26/12/2016 al 25/01/2017
Sello Instalador:	D-398853 (19E0199)	Carga:	0.00
Tipo de Consumo:	Mano Obra - General (C1.1)	Cargo por Reparación y Mantenimiento:	1.36
Categoría Tarifaria:	B110 - Residencial	Imp. Anual (0.5587 x 100.00 kWh):	00.00
Medidor Nº:	00000008150224 - Electrón.	Mantenimiento Anual (Mant. 0.5587):	11.58
Héct:	2	Imp. Compensación:	8.37
Leitura Anterior:	10,678.00 (25/12/2016)	SUB TOTAL:	101.19
Leitura Actual:	10,858.00 (25/01/2017)	Imp. Gr. Anual Ventas:	18.23
Diferencia de Lectura:	180.00	Sello por servicios:	0.00
Tarifa:	1.0000	Imp. de IVA (0.1110 x 100.00 kWh):	11.23
Consumo:	180.00 kWh	Valor de venta de:	0.00
Costo Precio:	170.83 kWh	Aporte Ley Nro. 28140 - 0.00	0.00
Potencia Contratada:	2.00 kW	TOTAL RECIBO DE SERVICIO 2017:	101.19
Imp. Contrato:	0.000000	Recibo anterior (1 Mes):	40.20
Tarifa Controlada:	270002117	Imp. de IVA Ley Nro. 29972 de 2015:	0.00
Fecha Emisión:	22/02/2017		

Importe y Débito Mensual Facturado

Min. 2017 (01/01/17) - 00.00
 Max. 2017 (01/01/17) - 00.00

Fecha Corte: 18/02/2017
 Si paga hasta la fecha de vencimiento reduce el corte, gastos y multas correspondientes.

FECHA DE VENCIMIENTO 17/02/2017 **TOTAL A PAGAR S/ *****299.30**

RECIBO Nº 551-21376063 Mayo-2017
 Chimbote, Santa - Ancash

Para Consulta, su código es: **49035709**

Sagastegui Roncal, Manuel Ascencion
 Mz. 8 00010 Urb. Laderas del Norte
L DEL NORTE R 10

Hidrandina
 EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PÚBLICO DE
 ELECTRICIDAD ELECTRO NORTE PERÚ S.A.
 El Poder de Equilibrio: 100%
 R.U.C. 20132023540

DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO		IMPORTES FACTURADOS	
Tensión:	220 V - BT	Recibo por Consumo del:	24/04/2017 al 24/05/2017
Sello Instalador:	D-340072 (15E0119)	Cargo Fijo:	0.12
Tipo de Consumo:	Mano Obra - Subterráneo (C1.1)	Cargo por Reparación y Mantenimiento:	1.23
Categoría Tarifaria:	B156 - Residencial	Imp. Anual (0.5487 x 100.00 kWh):	00.00
Medidor Nº:	00000215031625 - Electrón.	Mantenimiento Anual (Mant. 0.5487):	10.41
Héct:	3	SUB TOTAL:	112.76
Leitura Anterior:	2,428.00 (23/04/2017)	Imp. Gr. Anual Ventas:	20.18
Leitura Actual:	2,908.00 (24/05/2017)	Sello por servicios:	0.00
Diferencia de Lectura:	480.00	Diferencia de actividad:	0.00
Tarifa:	1.0000	Aporte Ley Nro. 28140 - 0.00	0.00
Consumo:	480.00 kWh	TOTAL RECIBO DE SERVICIO 2017:	132.94
Costo Precio:	333.83 kWh	Recibo anterior (1 Mes):	0.00
Potencia Contratada:	2.00 kW	Aporte Ley Nro. 29972 de 2015:	0.00
Imp. Contrato:	0.0112008		
Tarifa Controlada:	06112017		
Fecha Emisión:	25/05/2017		

Importe y Débito Mensual Facturado

Min. 2017 (01/05/17) - 00.00
 Max. 2017 (01/05/17) - 00.00

FECHA DE VENCIMIENTO 19/06/2017 **TOTAL A PAGAR S/ *****133.80**

RECIBO Nº 551-21373802
Chimbote, Santa - Ancash/

Mayo-2017

Para Consultas, su código es: **49028992**

DIAZ CISNEROS JOSE
Mz. 3-9 AAJH Ramal Playa
RAMAL PLAYA MZA-3-9

Hidrandina
EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PÚBLICO DE
ELECTRICIDAD ELECTROFORTE MEDIO S.A.
C/ Pisco s/n, Eje A-139, Tarma
R.U.C. 2013203540

DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO		IMPORTE FACTURADOS	
Tensión:	220 V - BT	Recibo por Consumo del 24/04/2017 al 24/05/2017	1.08
Sub-Estación N°	D-240701 (SE0119)	Cargo Fijo	1.25
Tipo de Conexión	Monofásica-Aérea(C1.1)	Cargo por Reparación y Mantenimiento	43.75
Opción Tarifaria	B15B - Residencial	Ene. Activo(S) 11,824 x 0.004 x 0.000189	2.34
Medidor N°	00000607180967	Recibo por Alcob. (Alcotas) de 4.424	0.43
Hilos	3	Salida Compensatoria	0.49
Leitura Anterior	252.00 (23/04/2017)	SUB TOTAL	48.49
Leitura Actual	337.00 (24/05/2017)	Imp. Global a las Ventas	4.11
Diferencia de Lectura	85.00	Interés Moratorio	0.06
Rango	1.0000	Costo por resto de día	0.02
Consumo	85.00 kWh	Diferencia de redondeo	0.05
Cons. Prom(S)	135.17 kWh	Aporte Ley Nro. 28738	0.0001
Potencia Contratada	1.00 kW	TOTAL RECIBO DE MAYO 2017	57.90
Inicio Contrato	01/01/1999	Detalle FOGEL Ley N° 27516 S/2.50	
Término Contrato	31/12/2017		
Fecha Emisión	25/05/2017		

Importe 2 Últimos Meses Facturados
May-2017 S/ 57.90 Abr-2017 S/ 58.40

FECHA DE VENCIMIENTO **19/06/2017**

TOTAL A PAGAR S/ *****57.90

RECIBO Nº 551-21765628
Chimbote, Santa - Ancash/

Agosto-2017

Para Consultas, su código es: **48834003**

SANTOS VDA DE L.ZENO
Mz. K 2 PP.13 Pueblo Libre
PUEBLO LIBRE K-2

Hidrandina
EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PÚBLICO DE
ELECTRICIDAD ELECTROFORTE MEDIO S.A.
C/ Pisco s/n, Eje A-139, Tarma
R.U.C. 2013203540

DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO		IMPORTE FACTURADOS	
Tensión:	220 V - BT	Recibo por Consumo del 23/07/2017 al 22/08/2017	1.73
Sub-Estación N°	D-345447 (SE0119)	Cargo Fijo	1.25
Tipo de Conexión	Monofásica-Aérea(C1.1)	Cargo por Reparación y Mantenimiento	41.31
Opción Tarifaria	B15B - Residencial	Ene. Activo(S) 0.5435 x 156.0000 kWh	12.72
Medidor N°	00000606316262	Alcob. Público (Alcotas) : S/ 0.5089	0.41
Hilos	2	Salida Compensatoria	108.65
Leitura Anterior	7.568.00 (22/07/2017)	SUB TOTAL	13.39
Leitura Actual	7.736.00 (22/08/2017)	Imp. Global a las Ventas	0.02
Diferencia de Lectura	168.00	Interés Moratorio	0.02
Rango	1.0000	Costo por resto de día	0.05
Consumo	168.00 kWh	Diferencia de redondeo	1.30
Cons. Prom(S)	179.17 kWh	Aporte Ley Nro. 28738	0.0001
Potencia Contratada	1.00 kW	TOTAL RECIBO DE AGOSTO 2017	144.10
Inicio Contrato	01/01/1997	Detalle FOGEL Ley N° 27516 S/2.50	
Término Contrato	31/08/2017		
Fecha Emisión	23/08/2017		

Importe 2 Últimos Meses Facturados
Jul-2017 S/ 136.40 Ago-2017 S/ 144.10

Fecha Corte: **15/09/2017**
Si paga hasta la fecha de vencimiento evitará el corte, gastos y molestias innecesarias.

FECHA DE VENCIMIENTO **14/09/2017**

TOTAL A PAGAR S/ *****274.00

ESTE 22 DE OCTUBRE
Apoya a los
Censos Nacionales 2017

RECIBO Nº 551-21376973 Mayo-2017
 Chimbo, Santa - Ancash/

Para Consultar, su código es: **49039092**

Barreto Aranda, Pedro
 Mz. L-20 Urb. Los Pinos
 URB LOS PINOS L-20

Hidrandina
 EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PÚBLICO DE
 ELECTRICIDAD ELECTRONORTE PERÚ S.A.
 D. Tumbayo, Santa Vta. - Inca
 R.U.C. 20132023940

DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO		IMPORTE FACTURADOS	
Tensión	220 V - BT	Recibo por Consumo del 24/04/2017 al 24/05/2017	
Sala Estación Nº	D-340079 (E0119)	Carga Fija	3.12
Tipo de Conexión	Unifásica-SoloFase(C.1)	Cargas Variables y Mantenimiento	1.98
Opción Tarifaria	DTSS - Residencial	Imp. Actualiz. (1.000 x 20.000 kWh)	18.78
Módulo Nº	00000001821505 - Electrón.	Actualiz. Alta (Recibo: 514.454)	15.71
Hilos	3	Imp. Compensación	0.96
Lectura Anterior	19.022.00 (23/04/2017)	SUB TOTAL	40.57
Lectura Actual	19.294.00 (24/05/2017)	Imp. Gas al Consumo	0.00
Diferencia de Lectura	272.00	Diferencia de Lecturas	-0.02
Factor	1.0000	Aporte Ley No. 28140 - 0.000	2.37
Consumo	272.00 kWh	TOTAL IMPORTE DEBIDO 2017	40.55
Consumo Prom. (kWh)	335.33 kWh	Deuda Anterior (1 Mes.)	198.33
Potencia Contratada	1.00 kW	Aporte FONDEC y RTD 1910 (12.1.14)	
Fecha Contrato	09/09/2007		
Tarifa Contrato	08/09/2017		
Fecha Expiración	25/06/2017		

Si paga hasta la fecha de vencimiento evitara el corte, gastos y multas sucesivas.

Fecha Corte: 20/06/2017

FECHA DE VENCIMIENTO **19/06/2017** TOTAL A PAGAR **S/ *****390.20**

RECIBO Nº 551-21385121 Mayo-2017
 Chimbo, Santa - Ancash/

Para Consultar, su código es: **49669942**

Acero Gamboa, Mario Junior
 Mz. A1 0001A PP. II El Porvenir

Hidrandina
 EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PÚBLICO DE
 ELECTRICIDAD ELECTRONORTE PERÚ S.A.
 D. Tumbayo, Santa Vta. - Inca
 R.U.C. 20132023940

DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO		IMPORTE FACTURADOS	
Tensión	220 V - BT	Recibo por Consumo del 23/04/2017 al 25/05/2017	
Sala Estación Nº	D-340090 (E0119)	Carga Fija	3.12
Tipo de Conexión	Monofásica-Antena(C1.1)	Cargas Variables y Mantenimiento	1.98
Opción Tarifaria	BTSS - Residencial	Imp. Actualiz. (1.000 x 142.000 kWh)	14.42
Módulo Nº	000000427114523 - Mixida.	Actualiz. Alta (Recibo: 514.454)	8.94
Hilos	3	Imp. Compensación	0.16
Lectura Anterior	17.712.00 (24/04/2017)	SUB TOTAL	28.57
Lectura Actual	17.884.00 (25/05/2017)	Imp. Gas al Consumo	0.00
Diferencia de Lectura	172.00	Imp. Mantenimiento	0.00
Factor	1.0000	Diferencia de Lecturas	1.00
Consumo	172.00 kWh	Aporte Ley No. 28140 - 0.000	1.90
Consumo Prom. (kWh)	90.00 kWh	TOTAL IMPORTE DEBIDO 2017	32.62
Potencia Contratada	2.00 kW	Aporte FONDEC y RTD 1910 (12.1.14)	
Fecha Contrato	11/08/2005		
Tarifa Contrato	09/08/2017		
Fecha Expiración	26/05/2017		

Si paga hasta la fecha de vencimiento evitara el corte, gastos y multas sucesivas.

Fecha Corte: 20/06/2017

FECHA DE VENCIMIENTO **20/06/2017** TOTAL A PAGAR **S/ *****102.60**

RECIBO Nº 551-20979844 **Febrero-2017**

Nuevo Chimbote, Santa - Ancash

Para Consultas, su código es: **49149648**

Hidrandina
EMPRESA REGIONAL DE SERVICIOS PÚBLICOS DE ELECTRICIDAD ELECTRONORTE INDI S.A.
C/ Privada de España 100 - Surco
R.U.C. 20132023540

DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO

Tensión: 220 V - BT
Sub. Estación Nº: D-341568 (SE0119)
Tipo de Conexión: Monofásica-Aérea(C1.1)
Opción Tarifaria: BT50 - Residenciales
Medidor Nº: 00000001124711 - Electrón.
Hilos: 2
Lectura Anterior: 90,202.00 (25/01/2017)
Lectura Actual: 90,427.00 (23/02/2017)
Diferencia de Lectura: 145.00
Factor: 1.0000
Consumo: 145.00 kWh
Cons. Prom. (5): 130.17 kWh

Política Contratada: 1.00 kW
Inicio Contrato: 24/10/2007
Termino Contrato: 23/10/2017
Fecha Emisión: 23/02/2017

IMPORTE FACTURADOS

Recibo por Consumo del 25/01/2017 al 23/02/2017

Cargo Fijo	3.00
Cargo por Reparación y Mantenimiento	4.20
Linea Aéreo (0.50) x (145.00 kWh)	60.25
Muestreo Público (Muest. 0.10 kWh)	1.45
Muest. Cooperativo	0.24
SUB TOTAL	69.14
Imp. Social a las Ventas	15.86
Impuesto Municipal	0.13
Servicio Municipal	4.00
Diferencia de cobros	0.00
Aporte Ley No. 28749 - 0.0000	1.17
TOTAL RECIBO DE FEBRERO 2017	110.50

Aporte TOSER Ley N° 28113 al 23/2

FECHA DE VENCIMIENTO: **17/03/2017**

TOTAL A PAGAR S/ ***110.50**

RECIBO Nº 551-20920215 **Enero-2017**

Chimbote, Santa - Ancash

Para Consultas, su código es: **48990213**

Hidrandina
EMPRESA REGIONAL DE SERVICIOS PÚBLICOS DE ELECTRICIDAD ELECTRONORTE INDI S.A.
C/ Privada de España 100 - Surco
R.U.C. 20132023540

DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO

Tensión: 220 V - BT
Sub. Estación Nº: D-341568 (SE0119)
Tipo de Conexión: Monofásica-Aérea(C1.1)
Opción Tarifaria: BT50 - Residencial
Medidor Nº: 00000000305005 - Electrón.
Hilos: 2
Lectura Anterior: 5,737.00 (24/12/2016)
Lectura Actual: 5,888.00 (24/01/2017)
Diferencia de Lectura: 151.00
Factor: 1.0000
Consumo: 151.00 kWh
Cons. Prom. (5): 130.17 kWh

Política Contratada: 1.00 kW
Inicio Contrato: 12/02/2007
Termino Contrato: 11/02/2017
Fecha Emisión: 25/01/2017

IMPORTE FACTURADOS

Recibo por Consumo del 25/12/2016 al 24/01/2017

Cargo Fijo	3.00
Cargo por Reparación y Mantenimiento	4.20
Linea Aéreo (0.50) x (151.00 kWh)	64.50
Muestreo Público (Muest. 0.10 kWh)	1.51
Muest. Cooperativo	0.24
SUB TOTAL	73.45
Imp. Social a las Ventas	16.38
CAGE - EA (100) @ 0.042 x (151.00 kWh)	1.56
Impuesto Municipal	0.00
Servicio Municipal	4.00
Diferencia de cobros	0.00
Aporte Ley No. 28749 - 0.0000	1.00
TOTAL RECIBO DE ENERO 2017	106.39

Deuda Anterior (1 Mes.): 15.00

Aporte TOSER y MDS 11/02/2017

FECHA DE VENCIMIENTO: **16/02/2017**

TOTAL A PAGAR S/ ***209.30**

Anexo 2. Tarifas de Hidrandina S.A. en Baja Tensión (B.T.)

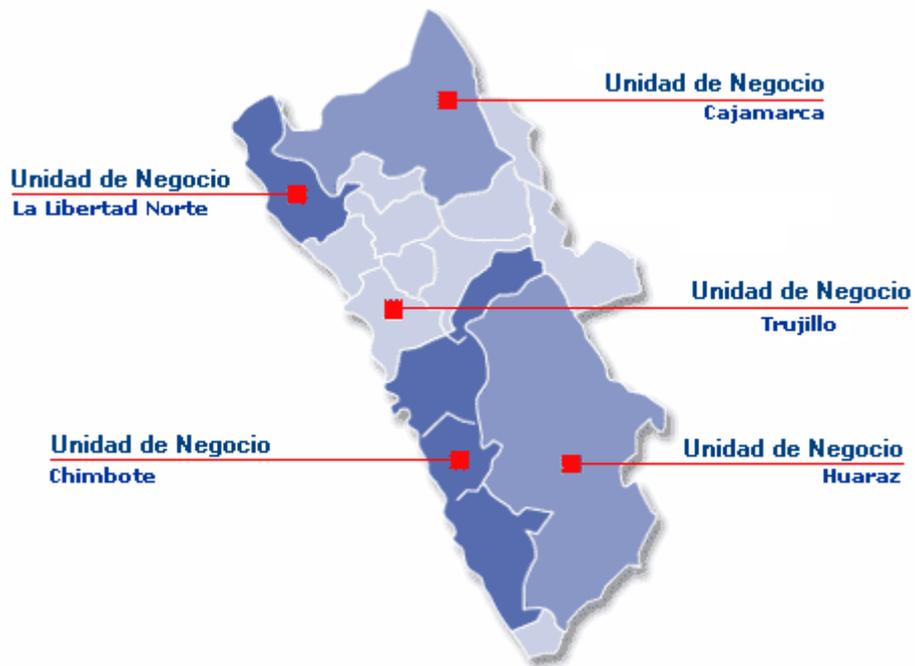
Clientes por Opción Tarifaria - 09/2017		
Opción Tarifa	Ventas de Energia Número de Clientes mes de Set - 2017	Porcentaje
BT5BR Mínimo hasta 30 KW.h	320,745	40.68%
BT5BR De 31 a 100 kW.h	249,369	31.63%
BT5BR De 101 a 150 kW.h	78,282	9.93%
BT5BR De 151 a 300 kW.h	67,384	8.55%
BT5BR De 301 a 500 kW.h	13,971	1.77%
BT5BR De 501 a 750 kW.h	2,911	0.37%
BT5BR De 751 a 1000 kW.h	801	0.10%
BT5BR Exceso de 1000 kW.h	913	0.12%
BT7R Mínimo hasta 30 KW.h	50,221	6.37%
BT7R De 31 a 100 kW.h	2,944	0.37%
BT7R De 101 a 150 kW.h	107	0.01%
BT7R De 151 a 300 kW.h	48	0.01%
BT7R De 301 a 500 kW.h	11	0.00%
BT7R De 501 a 750 kW.h	4	0.00%
BT7R De 751 a 1000 kW.h	2	0.00%
BT7R Exceso de 1000 kW.h	2	0.00%
BT5DR Mínimo hasta 30 kW.h	8	0.00%
BT5DR De 31 a 100 kW.h	1	0.00%
BT5DR De 101 a 150 kW.h	2	0.00%
BT5DR De 151 a 300 kW.h	9	0.00%
BT5DR De 301 a 500 kW.h	12	0.00%
BT5DR De 501 a 750 kW.h	16	0.00%
BT5DR De 751 a 1000 kW.h	16	0.00%
BT5DR Exceso de 1000 kW.h	136	0.02%
BT5ER Mínimo hasta 30 KW.h	156	0.02%
BT5ER De 31 a 100 kW.h	191	0.02%
BT5ER De 101 a 150 kW.h	90	0.01%
BT5ER De 151 a 300 kW.h	88	0.01%
BT5ER De 301 a 500 kW.h	5	0.00%
BT5ER De 501 a 750 kW.h	0	0.00%
BT5ER De 751 a 1000 kW.h	0	0.00%
BT5ER Exceso de 1000 kW.h	0	0.00%
Total BT	788,445	100.00%

Fuente: http://www.distriluz.com.pe/hidrandina/01_empresa/cifras.asp?id_cifra=363

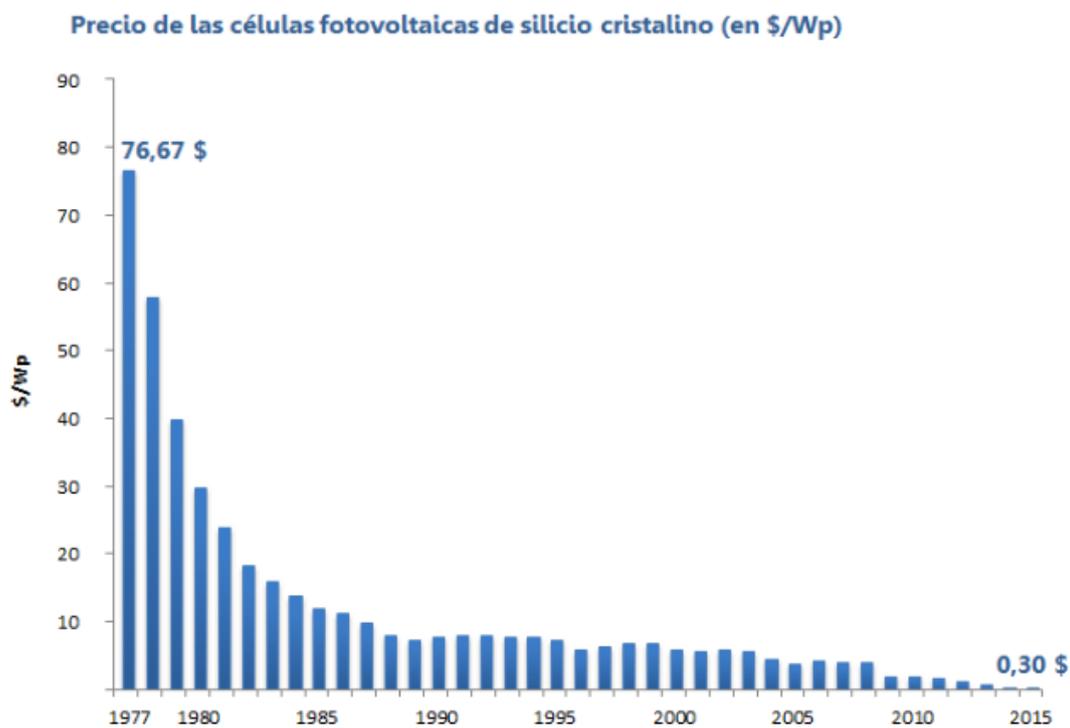
Anexo 3. Clientes por Unidad de Negocio de HIDRANDINA S.A. en Baja Tensión (BT)

Clientes por Unidad de Negocio en Baja Tensión (BT)		
UU.NN	A Diciembre 2016	Acumulado a 30/09/2017
Trujillo	317,565	327,125
Chimbote	138,993	139,939
Libertad Norte	90,182	91,129
Huaraz	74,281	75,626
Cajamarca	164,988	172,949
Conchucos	43,910	44,411
TOTAL	829,919	851,179

Fuente: http://www.distiluz.com.pe/hidrandina/01_empresa/cifras.asp?id_cifra=361



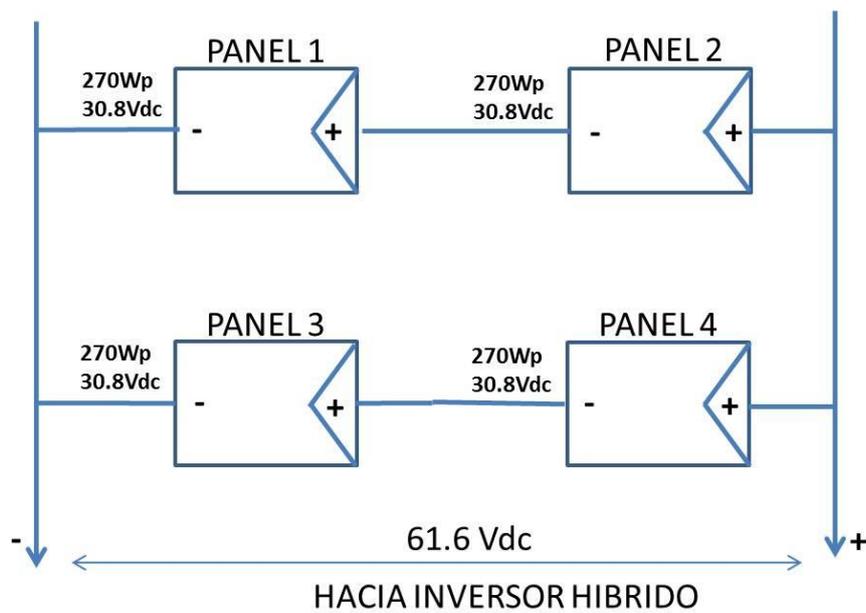
Anexo 4. Precio de las células voltaicas en el tiempo (\$/Wp)



Datos: Bloomberg New Energy Finance & PV Energy Trend

Anexo 5. Conexión de paneles Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo Directo

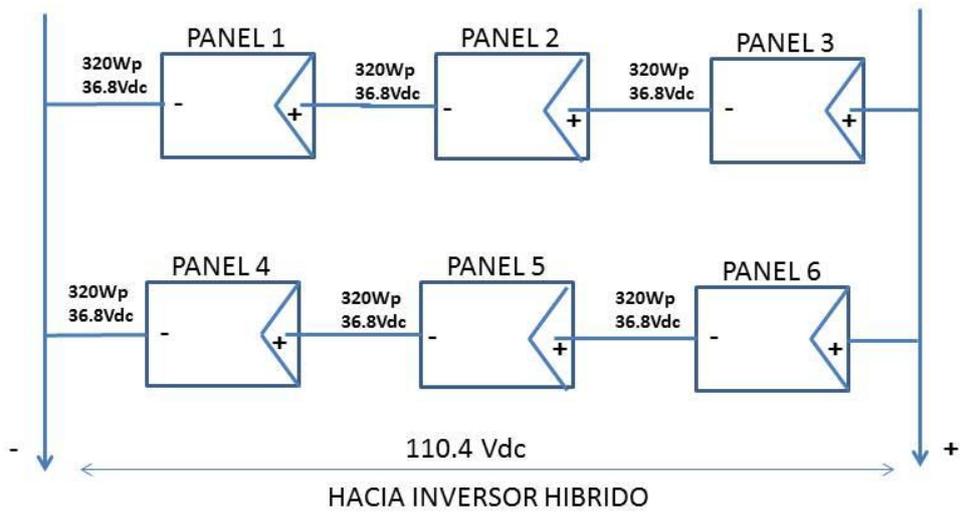
Panel Solar policristalino de 60 celdas, 270 Wp, 30.8 Vmp



Anexo 6. Conexión de paneles Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo con Almacenamiento

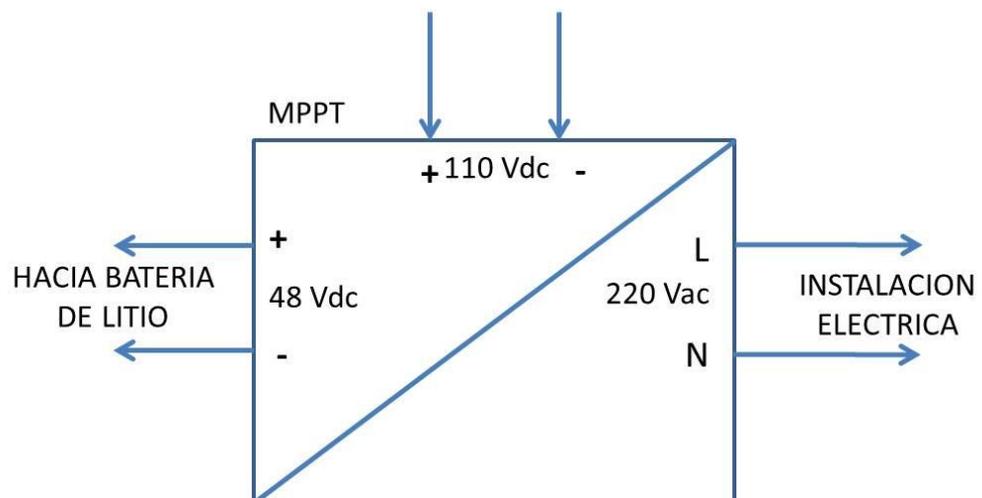
Panel Solar policristalino de 72 celdas, 320 Wp, 36.8 Vmp



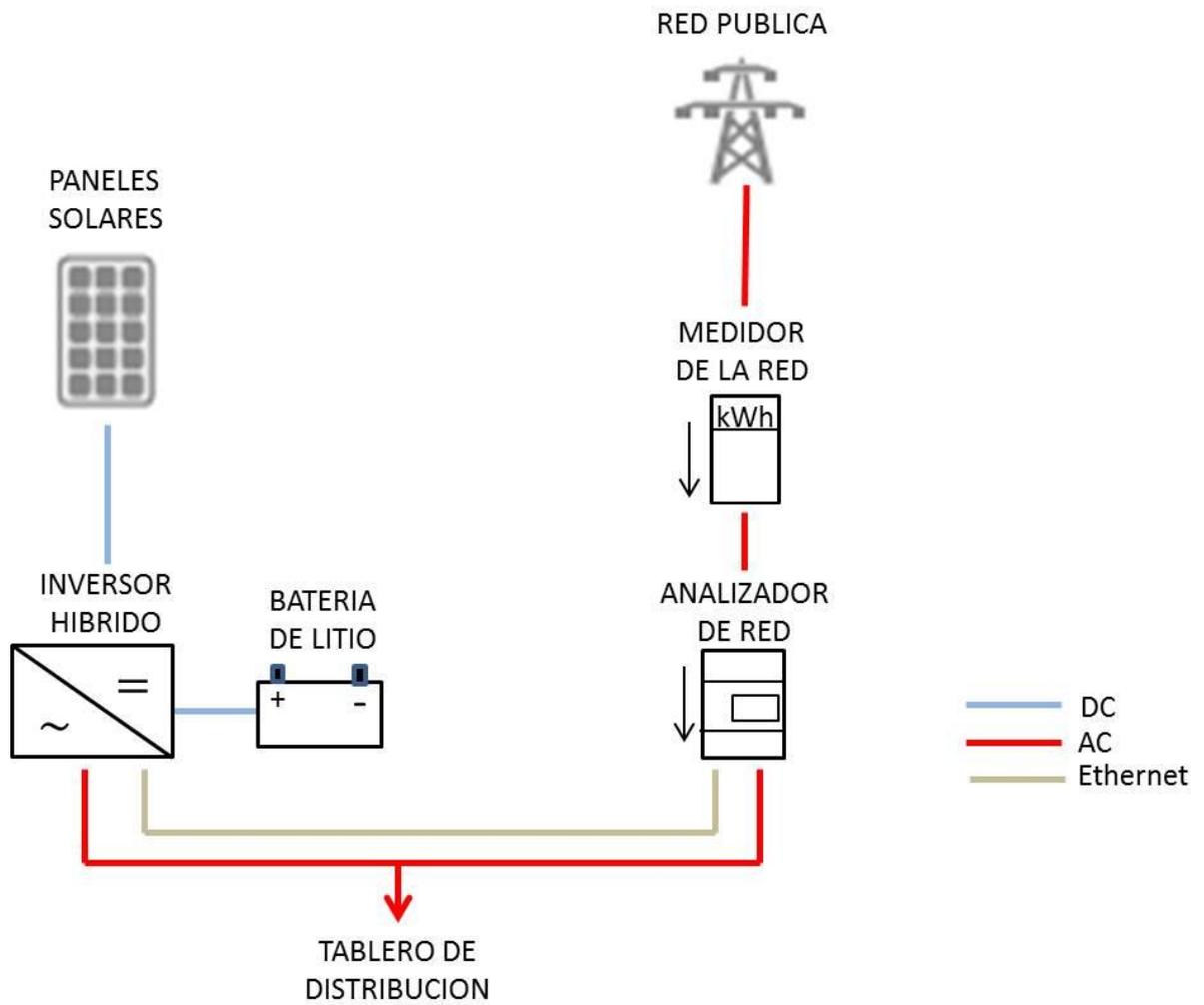


CONEXION INVERSOR HIBRIDO

DESDE PANELES



Anexo 7. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SF DE AUTOCONSUMO CONECTADO A RED



MATRIZ DE COHERENCIA

TITULO: Suministro alternativo de energía eléctrica mediante paneles solares, para autoconsumo domiciliario en el sector urbano de Chimbote

PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES
<p>¿Cuál es el sistema alternativo de generación eléctrica mediante paneles solares, para autoconsumo en las viviendas del sector urbano de Chimbote, que permitirá reducir el pago por consumo de energía eléctrica de la red pública, la conservación del medio ambiente y la viabilidad económica de la inversión?</p>	<p>El sistema alternativo de generación eléctrica mediante paneles solares para autoconsumo, en las viviendas del sector urbano de Chimbote, reduce el pago por consumo de energía eléctrica de la red pública, conserva el medio ambiente, y es viable económicamente.</p>	<p>General: Determinar el sistema alternativo de generación eléctrica mediante paneles solares, para autoconsumo en las viviendas del sector urbano de Chimbote, reducir el pago por consumo de energía eléctrica de la red pública, conservar el medio ambiente y determinar la viabilidad económica de la inversión.</p> <p>Específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Determinar el Sistema Fotovoltaico conectado a red (SFcR) sin inyección 2. Determinar el costo de producción de energía del SFcR de autoconsumo 3. Determinar la reducción de pago con un SFcR de autoconsumo 4. Determinar la disminución de gases de efecto invernadero 5. Determinar la viabilidad económica (rentabilidad) de la inversión. 	<p>V1: sistema fotovoltaico V2: autoconsumo V3: reducción de pago V4: Conservación del medio ambiente V5: viabilidad económica</p>

