



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Proyecto de viabilidad de climatización y electrificación en viviendas de comunidades rurales en Zonas Alto Andinas (Puno-Perú)

Autor: Diego Ernesto Mori Acuña

Tutor: Cristian Fábrega

Curso académico: 2017- 2018

Máster en Energías Renovables
y
Sostenibilidad Energética

Dos Campus d'Excel·lència Internacional:



DEDICATORIA

A mi madre Margot que, con su amor, consejos y apoyo incondicional, ha hecho posible este nuevo logro en mi vida profesional, Doy gracias a Dios por haber nacido de tu vientre y llamarte madre. A ti todo mi amor y orgullo por ser una madre excepcional. TE AMO MUCHO MADRE.

A mis queridas hermanas Jenny e Ivonne y la familia Mori en general por su constante apoyo, palabras de tranquilidad y ánimo.

A mí amada novia Rosa por su compañía incondicional durante estos 9 años juntos, y ahora en este nuevo reto que nos propusimos, has estado conmigo incluso hasta en los momentos más turbulentos. Este proyecto no fue fácil, bueno como todo en la vida, pero estuviste ahí motivándome y ayudándome. Gracias por tu compañía. TE AMO.

Diego Mori.

AGRADECIMIENTO

Este Trabajo de Fin de Máster ha sido posible gracias al apoyo y ayuda de muchas personas a las que me gustaría dar mi agradecimiento, pues con cada uno de esos momentos, por pequeños que fuesen, he aprendido y me han hecho estar más cerca de este logro. Destacaré aquí a las más importantes y de las que no me puedo olvidar.

Primero y ante todo dar gracias a Dios, por estar conmigo siempre en cada paso que doy, por fortalecer mi espíritu y corazón. Por darme sabiduría en cada decisión tomada en mi vida y por haber puesto en mi camino aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A todos y cada uno de mis profesores de este máster que, sin duda alguna, me han hecho crecer profesionalmente y me han mostrado la infinita cantidad de saberes que puedo aprender. Mi admiración y respetos al Dr. M. Villarrubia, al Dr. M. Marzo y al Dr. N. Homs.

Un agradecimiento especial al Dr. Cristian Fábrega por el asesoramiento brindado en el desarrollo de la tesis y al Dr. Miguel Villarrubia por sus consejos, enseñanzas y su aporte en este proyecto.

A la empresa Meteoblue GA, por su apoyo permitiéndome el libre acceso la base de datos meteorológicos de la zona elegida para el desarrollo del proyecto, sin este aporte no hubiera sido posible dar inicio a este proyecto, gracias.

A mis compañeros, especialmente a aquellos que me permitieron compartir un momento de plática y reuniones, aprendiendo a través de ellos un poco de su cultura, experiencias y nuevos conocimientos.

Por último, y no menos importante mi agradecimiento a PRONABEC porque sin su apoyo no hubiera sido posible estar aquí, creciendo profesionalmente y adquiriendo nuevos conocimientos, gracias a todos y cada uno de los colaboradores que forman parte de esta entidad del estado peruano, que apuestan por los profesionales que desean hacer grande nuestro querido Perú.

Viva el PERÚ...!!!

RESUMEN

El presente proyecto de investigación trata de la viabilidad de electrificación y climatización en viviendas de comunidades rurales en Zonas Alto Andinas (Puno-Perú) mediante el aprovechamiento de los recursos naturales de la zona, el proyecto surge por abordar este tema, específicamente en Puno – Perú, debido a que en los últimos años las zonas alto andinas han sido golpeadas por una intensa ola de frío durante gran parte del año, siendo más vulnerables los niños y ancianos, llegando hasta cobrar vidas.

El proyecto como medida de investigación y desarrollo busca cubrir parte de las necesidades básicas, como acceso a la electricidad y climatización que requieren las viviendas de comunidades rurales en las zonas alto andinas ubicadas a más de 3800 msnm. Para el desarrollo del proyecto se ha estudiado datos de las comunidades rurales de la Provincia de Huancané, por ser una de las zonas con heladas extremas.

Para la electrificación de la vivienda, se analizó la demanda eléctrica de la vivienda y se buscó la autonomía en la generación mediante uso de los recursos renovables, por lo que se caracterizó el potencial energético de recurso eólico y solar, seleccionando así la opción más viable para el diseño de electrificación en la vivienda. Para la climatización, se realizó una caracterización del clima de la zona y se determinó la demanda de calefacción requerido en las viviendas existentes a las condiciones más extremas de temperatura, posterior se analizaron diferentes casos de confort climático realizados en viviendas expuestas a las mismas condiciones climáticas o parecidas, con la propuesta seleccionada se desarrollaron los cálculos para la zona de estudio, teniendo en cuenta la orientación, los materiales de construcción empleados, así como la aplicación de técnicas de arquitectura bioclimáticas y la instalación de sistemas con aprovechamiento de recursos renovables como son los sistemas termo solares.

Finalmente, el proyecto servirá para difundir e incentivar la generación autónoma de energía eléctrica y la construcción de viviendas con aplicación de técnicas de arquitectura bioclimática y con materiales de construcción fabricados con recursos propios de la zona que permitan mantener el calor dentro de las viviendas y mejoren la calidad de vida y confort de las personas que lo habitan.

ABSTRACT

The present research project is the viability of electrification and air conditioning in homes in rural communities in Andean high zones (Puno-Peru) by taking advantage of the natural resources of the area, the project arose to address this issue, specifically in Puno - Peru, because in recent years the areas high Andean have been hit by an intense wave of cold for much of the year, being more vulnerable children and the elderly, to collect lives.

As a research and development project aims to cover some of the basic needs, such as access to electricity and air conditioning which require high Andean located dwellings of rural communities in the areas to more than 3800 masl. The development of the project has been studied data from the rural communities of the province of Huancafé, for being one of the areas with cold extreme.

For the electrification of houses, the electricity demand of the housing was analysed, and sought autonomy in generation by using renewable resources, so characterized the energy potential of wind and solar resource, thus selecting more viable for the design of electrification in dwellings. For the air conditioning, a characterization of the climate of the area was conducted and determined the demand of heating required in existing housing to the most extreme conditions of temperature, rear climate comfort different cases were analysed performed in dwellings exposed to same or similar climatic conditions, with the selected proposal developed calculations for the study area, taking into account guidance, used building materials, as well as the application techniques of bioclimatic architecture and the installation of systems with use of renewable resources such as solar thermal systems.

Finally, the project will serve to disseminate and encourage the autonomous generation of electric power and housing construction with application of techniques of bioclimatic architecture and building materials made from own resources of the area They allow to keep the heat within the housing and improve the quality of life y comfort of the people who inhabit it.

ÍNDICE DEL DOCUMENTO

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMÁTICA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	1
1.3. OBJETIVOS	1
1.4. UBICACIÓN DEL PROYECTO	1
2. METODOLOGÍA	2
2.1. CLIMATIZACIÓN	3
2.1.1. ANÁLISIS DAFO	3
2.1.2. CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	3
2.1.3. ORIENTACIÓN DE LA VIVIENDA	4
2.1.4. TÉCNICAS DE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA Y SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	5
2.1.5. DEMANDA TÉRMICA DE CALEFACCIÓN DE LA VIVIENDA	8
2.1.6. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA TERMO SOLAR	10
2.2. ELECTRIFICACIÓN.....	12
2.2.1. ANÁLISIS DAFO	12
2.2.2. ESTIMACION Y ANÁLISIS DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA VIVIENDA	12
2.2.3. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE RECURSO EÓLICO	13
2.2.4. EVALUACIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR INCIDENTE	15
2.2.5. DIMENSIONAMIENTO Y CONSIDERACIONES DEL SISTEMA DEL ELECTRIFICACIÓN ELEGIDO.....	17
2.2.5.1. DIMENSIONAMIENTO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	17
2.2.5.2. DIMENSIONAMIENTO DE BATERÍAS.....	19
2.2.5.3. DIMENSIONADO DE INVERSOR	20
2.2.5.4. DIMENSIONADO DEL REGULADOR DE CARGA	20
3. RESULTADOS.....	21
3.1. CONSTRUCCIÓN BIOCLIMÁTICA.	21
3.2. INSTALACIÓN TERMO SOLAR.	22
3.3. INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.	23
3.4. BANCO DE BATERÍAS.....	24
3.5. INVERSOR	24
3.6. REGULADOR DE CARGA.....	24
3.7. REPRESENTACION DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	25
4. RESUMEN DE ESPECIFICACIONES BÁSICAS DEL PROYECTO	25
5. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	26
6. CONCLUSIONES	28
7. RECOMENDACIONES.....	29
BIBLIOGRAFÍA	

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio del proyecto	2
Figura 2. Esquema de la metodología empleada en el desarrollo del proyecto	2
Figura 3. Resumen climatológico de la zona	4
Figura 4. Temperatura promedio por hora	4
Figura 5. Orientación de una vivienda, Hemisferio Sur para diferentes climas.....	5
Figura 6. Orientación ideal de una vivienda sismoresistente.....	5
Figura 7. Propuesta de vivienda bioclimática para zona altoandinas	6
Figura 8. Vista externa e interna de vivienda con protección térmica.....	7
Figura 9. Carga térmica horaria requerida por la vivienda.....	9
Figura 10. Comparación de pérdidas de calor para la vivienda con y sin aislamiento.....	9
Figura 11. Comportamiento térmico horario de la vivienda aislada	10
Figura 12. Demanda energética de A.C.S. (color rojo) y de calefacción (color azul).....	11
Figura 13. Comparativa demanda energética y aporte solar	11
Figura 14. Demanda de energía diaria de una Vivienda (cotidiana y puntual).	12
Figura 15. A y B: Vista de la Zona	13
Figura 16. Horas acumuladas al año de la velocidad del viento.....	14
Figura 17. Radiación solar en Huancané (2005-2015)	16
Figura 18. Valores mínimos de la radiación solar incidente sobre un plano inclinado.....	16
Figura 19. Comparativa de irradiación solar con ángulos de inclinación 0°, 10° y 20°	17
Figura 20. Horas equivalentes de sol. Inclinación 20°	17
Figura 21. Comparativa entre energía aportada por el sistema y energía demandada.....	19
Figura 22. Representación final del sistema termo solar.....	22
Figura 23. Comparación energía aportada vs energía demandada en la vivienda.....	23
Figura 24. Estructura de conexión de los módulos fotovoltaicos en serie y paralelo	23
Figura 25. Representación final del sistema fotovoltaico aislado.	25
Figura 26. Coste mensual de la electricidad en la vivienda	27
Figura 27. Esquema del Retorno de la inversión.....	27

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos Geográficos del Proyecto.	2
Tabla 2. Propiedades del Recurso Eólico en la zona de estudio.	14
Tabla 3. Potencia y Energía producida por aerogeneradores verticales usados como referencia.	15
Tabla 4. Datos de Irradiación e Irradiancia en Huancané. PVGIS.	17
Tabla 5. Balance de energía.	18
Tabla 6. Cuadro resumen de Demanda térmica requerida para las viviendas.	22
Tabla 7. Requerimiento en colectores termo solares.	22
Tabla 8. Requerimiento en módulos fotovoltaicos.	23
Tabla 9. Requerimientos para el sistema de baterías.	24
Tabla 10. Dimensión del inversor o Grupo de inversores.	24
Tabla 11. Parámetros del Regulador de Carga.	25
Tabla 12. Especificaciones básicas del Proyecto.	25
Tabla 13. Costes de Instalación Fotovoltaica y Termo Solar.	26
Tabla 14. Precios elementos del sistema fotovoltaico y termo solar.	26

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMÁTICA

En el Perú, el problema de la electrificación se concentra fundamentalmente en las áreas rurales, frente a un 98.7% de cobertura en zonas urbanas, se tiene solamente un 78% de cobertura eléctrica en zonas rurales [1]. Sumado a ello, se observa que a medida que aumenta la tasa de cobertura disminuye la tasa de electrificación anual [2], pues lo que resta por electrificar es a la vez lo más difícil, más costoso por encima de los US\$ 4,000 de inversión por hogar, y lo menos rentable en términos de servicio público.

La población rural del Perú de las zonas altoandinas, amazónicas y del litoral peruano representa al sector más vulnerable del país. Uno de los problemas latentes es el descenso de la temperatura del aire por debajo de 0°C (en muchas localidades se registran temperaturas de -20°C). Esta variabilidad climática, conocida en la sierra como helada meteorológica y en la selva como friaje [3], producen en gran medida la incidencia de enfermedades broncopulmonares (neumonías o infecciones respiratorias agudas). Precisamente, esta situación climática representa una de las principales causas de muertes infantiles (0 a 5 años) y de adultos mayores, así como la pérdida de la producción pecuaria y agrícola. Adicionalmente, la variabilidad climática se ve intensificada por los efectos del cambio climático, lo que favorece la ocurrencia de eventos hidroclimáticos extremos a nivel de intensidad y duración, exacerbando así la vulnerabilidad en la población rural ante los episodios de heladas y friajes recurrentes [4].

1.2. JUSTIFICACIÓN

La justificación e importancia del proyecto parten de difundir la aplicación de tecnologías maduras en la generación de energía renovables y sostenibles con el medio ambiente, así como la aplicación de técnicas de arquitectura bioclimáticas en la construcción de viviendas confortables y eficiente energéticamente.

El presente proyecto es importante porque permite plantear acciones de mejora en la calidad de vida y confort de los pobladores que habitan en las comunidades rurales de las zonas alto andinas (Puno-Perú), expuestos a climas muy fríos, ocasionando altos índices de enfermedades respiratorias y mortandad.

1.3. OBJETIVOS

- Establecer técnicas viables para la modificación y construcción de viviendas en climas fríos, mejorando su temperatura y confort en sus interiores.
- Determinar el recurso renovable viable para la electrificación de las viviendas de las comunidades rurales aislada de la red (Off Grid).

1.4. UBICACIÓN DEL PROYECTO

La zona de estudio para este proyecto se ubica en la provincia de Huancané, departamento de Puno, ubicado en la zona sur alto andina del Perú, el cual presenta las siguientes características geográficas:

Tabla 1. Datos Geográficos del Proyecto.

Localidad	Latitud	Longitud	Altitud
Huancané	-15.2042 sur	-69.7614 oeste	3853 msnm



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio del proyecto. [5].

2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos trazados se estableció una metodología de investigación que detalla los pasos seguidos desde la elaboración de la Línea base (Caracterización climatológica de la zona) hasta el reporte de resultados finales, para mayor detalle ver la Figura 2.

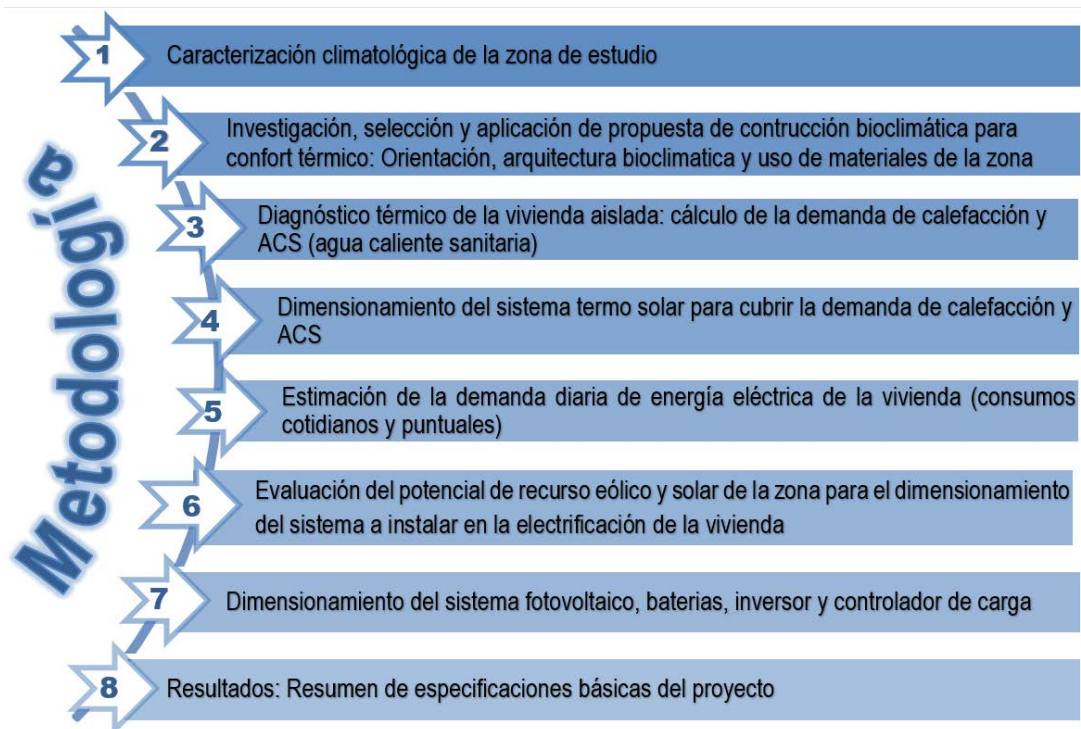


Figura 2. Esquema de la metodología empleada en el desarrollo del proyecto.

2.1. CLIMATIZACIÓN

Se caracteriza la climatología de la zona de estudio, y se realiza un proceso de investigación sobre propuestas de confort térmico con técnicas bioclimáticas realizados en la zona de estudio o en lugares de climas similares, evaluado la mejor propuesta se determinará la demanda térmica de la vivienda para luego ser comparada con la demanda térmica requerida en una vivienda de la zona de estudio sin aislamiento térmico, finalmente para compensar la demanda térmica que se requiera cubrir en la vivienda bioclimática, se desarrollará el dimensionamiento de un sistema solar térmico para la calefacción mediante suelo radiante y el suministro de ACS.

2.1.1. ANÁLISIS DAFO



2.1.2. CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

Huancané está ubicado en zona Altiplánica a orillas del lago Titicaca al Sur del Perú, tiene una superficie total de 2806 Km² y es una de las 15 provincias del Departamento de Puno [5].

El clima en Huancané es un clima de tundra [6], lo que significa que las temperaturas son muy bajas durante todo el año. La temperatura media anual es 7.1 °C, la temperatura promedio más altas son en diciembre, alrededor de 9.4 °C, julio tiene la temperatura promedio más baja del año, es 3.85 °C. La precipitación media anual es de 25.51 mm, la menor cantidad de lluvia ocurre en junio, el promedio de este mes es 1 mm y con un promedio de 62 mm, la mayor precipitación cae en febrero, presenta una humedad relativa media anual del 61%, la radiación solar incidente promedio diaria tiene variaciones estacionales leves durante el año, el mes más resplandeciente del año es noviembre, con un promedio de 7,6 kWh/m², con una media anual de 6,5 kWh/m² y el día más oscuro del año es en junio, con un promedio de 5,5 kWh/m².¹

En la Figura 3 se muestra el resumen climatológico de la zona.

¹ En el Anexo 1, se muestra la caracterización climatológica de la zona para un periodo de 10 años (2005-2015).

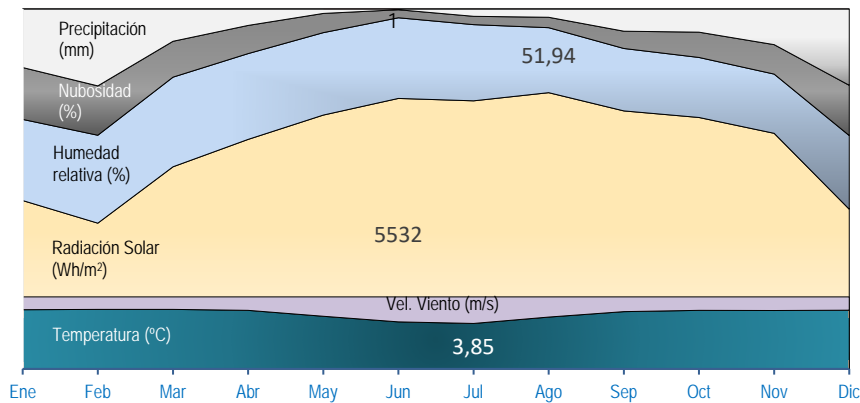


Figura 3. Resumen climatológico de la zona

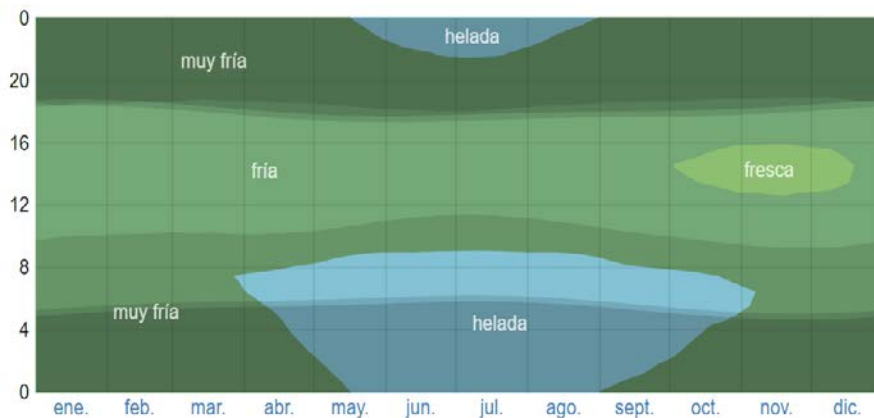


Figura 4. Temperatura promedio por hora

La Figura 4 representa la temperatura promedio por hora de la zona de estudio, codificada por bandas de colores: frígida < -9°C, helada < 0°C, muy fría < 7°C, fría < 13°C, fresca < 18°C, cómoda < 24 °C < caliente < 29 °C < muy caliente < 35 °C < tórrida. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo.

2.1.3. ORIENTACIÓN DE LA VIVIENDA

Unos aspectos más importantes en el diseño de la vivienda rural bioclimática es la orientación y forma, que se debe tener en cuenta. La orientación se refiere más a la posición de la vivienda respecto al eje Norte-Sur, haciendo hincapié que en el hemisferio Sur las superficies orientadas hacia el norte son las más favorecidas con la incidencia de radiación solar [7]. En general una vivienda debe favorecer mayor superficie posible orientada al norte, para que la vivienda rural bioclimática sea capaz de auto solventar térmicamente parte de la demanda de calefacción requerida en los días de muy bajas temperaturas, (ver Figura 5) y reducir el uso de sistemas auxiliares de calefacción activa como son las bombas de calor, calefactores, termas, entre otros.

Como se observa en la Figura 6, la instalación de un captador pasivo (muro trombe) estará adosado al muro de las habitaciones las cuales estarán ubicadas con orientación hacia el norte para aprovechar la incidencia de la radiación solar.



Figura 5. Orientación de una vivienda, Hemisferio Sur para diferentes climas. [8].

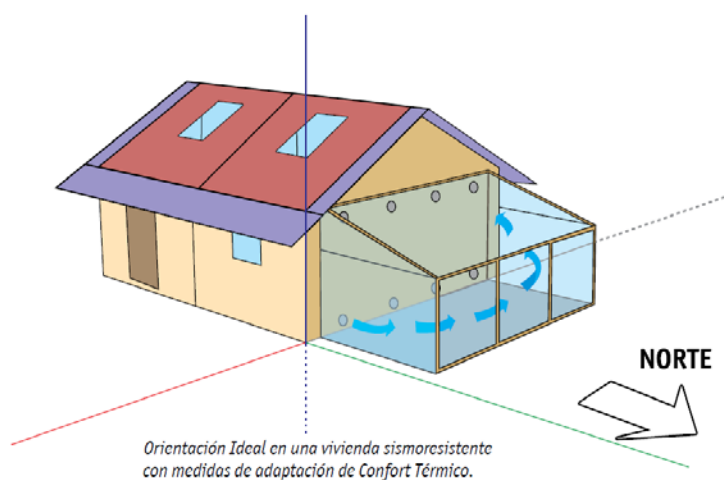


Figura 6. Orientación ideal de una vivienda sismoresistente.[9].

2.1.4. TÉCNICAS DE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA y SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

El control de los efectos del clima en la vivienda está influenciado principalmente por una adecuada selección de los materiales empleados en la construcción, por su combinación según criterios de máxima funcionalidad y por el óptimo diseño de espacios, vanos y orientaciones [10].

El almacenamiento térmico se consigue básicamente aumentando la inercia térmica de las viviendas, es decir, la masa de algunos de sus componentes. Por ello, deben utilizarse sistemas estructurales de gran masa, pero al mismo tiempo que supongan el menor coste energético posible, y que se puedan construir con la mayor rapidez y sencillez posible. Además, deben utilizarse otros elementos arquitectónicos (agua, tierra, residuos...) que aumenten al máximo la masa de la vivienda, al menor coste posible.

La inercia térmica del edificio es fundamental, ya que, sin ella, la vivienda no podría comportarse adecuadamente, o necesitaría la ayuda de artefactos tecnológicos, con el consiguiente consumo energético, y aumento de precio. Una elevada inercia térmica permite, en invierno, que el calor generado durante el día de forma natural (básicamente por la radiación solar), se mantenga durante la noche, sin consumo energético alguno, y asegurando el bienestar de sus ocupantes. Sin la suficiente inercia térmica no hay forma de conseguir este comportamiento, y, por tanto, no hay forma de conseguir una verdadera vivienda bioclimática [11].

Para la selección de la propuesta se evaluaron diferentes técnicas de arquitectura bioclimáticas las cuales se mencionan a continuación².

- Las características del sitio en los períodos fríos y calurosos.
- Ubicación y orientación de la construcción (fachadas) con relación al sol para ganar o evitar radiación solar según el período estacional.
- Las formas de las viviendas con relación al sol y a las características del sitio.
- Sistemas de ventilación y de asilamiento que permitan mantener la casa a temperaturas agradables tanto en invierno como en verano sin necesidad de consumir electricidad o gas.
- Uso de materiales naturales locales como adobe, madera, arcilla, totora, paja, en otros.
- Propiedades térmicas de los materiales.
- Vegetación, que será autóctona y se utilizará para el control climático.
- Envolvente térmica que será continua y limitará adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico.
- Uso de energía solar: para dar calor en invierno y para iluminar todo el año.
- Captación solar pasiva, uso de muro trombe e instalación de claraboyas en el techo.
- Diseño de ventanas para atrapar los rayos del sol tanto en verano como invierno.
- Los vientos, brisas y el movimiento del aire interior, los cuales determinarán la localización, distribución y tamaño de las ventanas y aperturas.

La propuesta presentada en este estudio, es una combinación de resultados obtenidos en trabajos de investigación y que ha permitido ir validando opciones de adecuación que incorpore sistemas de captación y conservación de la temperatura interna, ventilación e iluminación a estándares que hacen saludable la vivienda, especialmente en épocas de frío intenso [9], [12].

La propuesta se resume en la siguiente imagen:

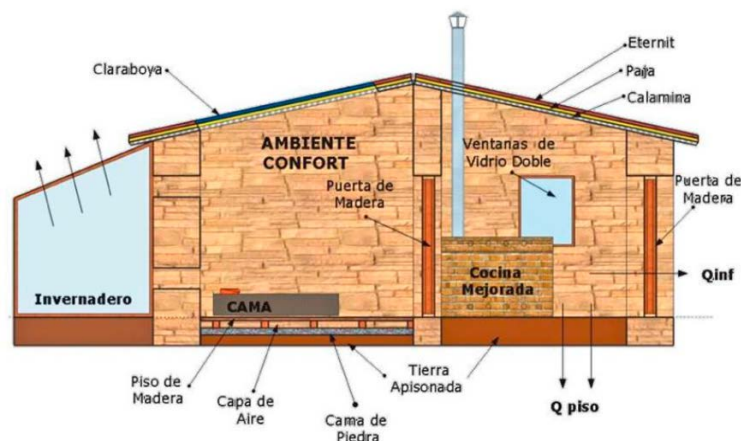


Figura 7. Propuesta de vivienda bioclimática para zona altoandinas. [13].

² Para la evaluación de viviendas bioclimáticas, se estudiaron proyectos de diseño bioclimático aplicados en San Juan de Yanacollpa (Huancavelica), Cuzco, Huaraz, Puno, así como en zonas de friaje y heladas en Europa (España). Se revisaron estudios e investigaciones realizadas por CARE-Perú, Grupo de Apoyo al Sector Rural-PUCP (Pontificia Universidad Católica del Perú), Centro de Energía Renovables - Universidad Nacional de Ingeniería (CER-UNI), Grupo Centro Tierra-PUCP, SENCICO, Construcción21 INTERNACIONAL, Asociación Nacional para la Arquitectura Sostenible (ANAS), proyectos realizados por el Arquitecto Luis de Garrido y proyectos del Arquitecto Reynolds Michael Reynolds en sus construcciones Nave Tierra.

En la Figura 7, se propone una vivienda que considere la implementación de la cocina mejorada para favorecer el confort térmico, pisos con base de piedra, plancha de tecnopor y madera para aislar al ambiente de la humedad añadido a esto un sistema de suelo radiante, ventanas con doble vidrio y cubierta interna de madera, puertas de madera contraplacada con aislamiento de tecnopor en el medio, invernadero con muro trombe colindante a los dormitorios, claraboyas en los techos, el techado de la vivienda está constituido por una cubierta exterior de eternit o calamina galvanizada, seguido de una cámara de aire, placa de madera o paja, tecnopor y triplay, paredes de adobe o de piedra revestidos externamente con una mezcla de barro y paja y un revoque externo e interno con yeso, una opción viable sería el uso de la totora en el recubrimiento interno de paredes y techo fijados en forma de colchones [14], trenzados horizontal y verticalmente³ (Ver Figura 8).

Se desarrolla el diseño de la vivienda bioclimática siguiendo los lineamientos de la Norma técnica EM.110 "Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética" que tiene por objetivo determinar zonas bioclimáticas dentro del territorio del Perú de acuerdo a las características particulares de cada zona bioclimática y fijar parámetros de diseño que tomen en cuenta el control térmico y lumínico con eficiencia energética.



Figura 8. Vista externa e interna de vivienda con protección térmica. [14].

³ En el Anexo 2 se presentan las propiedades térmicas de los materiales de construcción. (EM.110)

2.1.5. DEMANDA TÉRMICA DE CALEFACCIÓN DE LA VIVIENDA

En las viviendas las pérdidas y ganancias de calor se producen en techos, paredes, pisos y ventanas [16], por ello se tomarán en cuenta estos puntos para el cálculo de la carga térmica. El cálculo de la carga térmica de calefacción se realiza mediante la expresión:

$$Q_{TCE} = Q_{Perdido} - Q_{Ganado} \quad (Ec. 1)$$

$$Q_{CTE} = (Q_{Pt} + Q_{Pi}) - (Q_G + Q_{Gt} + Q_{Gi} + Q_{Ai})$$

Siendo:

$$1) \quad Q_{Pt} = K * A * (T_{int} - T_{ext}) \quad (Ec. 2)$$

Donde:

- Q_{Pt} es el calor perdido por transmisión en Kcal/h.
- K es el coeficiente de transmisión (Kcal/m².h.°C).
- A es la superficie del cerramiento en contacto con el exterior (m²).
- T_{int} es la temperatura interior de la vivienda en invierno (18°C).
- T_{ext} es la temperatura del ambiente exterior en invierno.

$$2) \quad Q_{Pi} = V * (c/h) * U * (T_{int} - T_{ext}) \quad (Ec. 3)$$

Donde:

- Q_{Pi} es el calor perdido por infiltración en Kcal/h.
- V es el volumen del aire del edificio renovado cada hora m³.
- c/h son los cambios cada hora, depende de lados de cobertura.
- U constante 0.29.
- T_{int} es la temperatura interior de la vivienda en invierno (18°C).
- T_{ext} es la temperatura del ambiente exterior en invierno.

$$3) \quad Q_G = A * Radiación\ Solar * \% de\ Transmisidad \quad (Ec. 4)$$

Donde

- G es la ganancia de calor por exposición a radiación solar en Kcal/h.
- A es el área de ventana con asolamientos en m².

$$4) \quad Q_{Gt} = A * K * (T_{int} - T_{ext}) \quad (Ec. 5)$$

Donde:

- Q_{Gt} es la ganancia de calor por transmisión en Kcal/h (muro trombe)
- A es el área del colector o elemento almacenado de calor en m²
- K es el coeficiente de transmisión en Kcal/m².h.°C.
- T_{int} es la temperatura interior de la vivienda en invierno (18°C)
- T_{ext} es la temperatura del ambiente exterior en invierno.

$$5) \quad Q_{Gi} = (0.29 \text{ Kcal/m}^3/\text{°C}) * V * (R/h) * (T_{int} - T_{ext}) \quad (Ec. 6)$$

Donde

- Q_{Gi} es la ganancia de calor por infiltración en Kcal/h (ventilación).

- 0.29 Constante en Kcal/m³/°C.
- R/h Renovación por hora (2).
- T_{int} es la temperatura interior de la vivienda en invierno (18°C).
- Text es la temperatura del ambiente exterior en invierno.

$$6) \quad Q_{AI} = (0.86 \text{ Kcal/h}) * E * C \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde

- Q_{AI} es la ganancia de calor por aportaciones independientes en Kcal/h.
- 0.86 constante de conversión en Kcal/h.
- E es la energía en vatios.
- C es la cantidad de artefactos u ocupantes en la vivienda.

La potencia de iluminación considerada corresponde a 11W. En el caso de equipos, consideramos 130 W como potencia unitaria (ver Anexo 6).

Remplazando los resultados en la (Ec. 1), se obtiene una carga térmica de 3.85 KW, este valor es obtenido para cierta hora de un día del mes de agosto con la temperatura más baja registrada (-16.1 °C) (ver Figura 9). De igual forma se evaluó y comparó mensualmente la pérdida de energía en forma de calor para la vivienda sin aislar y la aislada, para un año promedio en base a un periodo de diez años (2005-2015) (ver Figura 10).

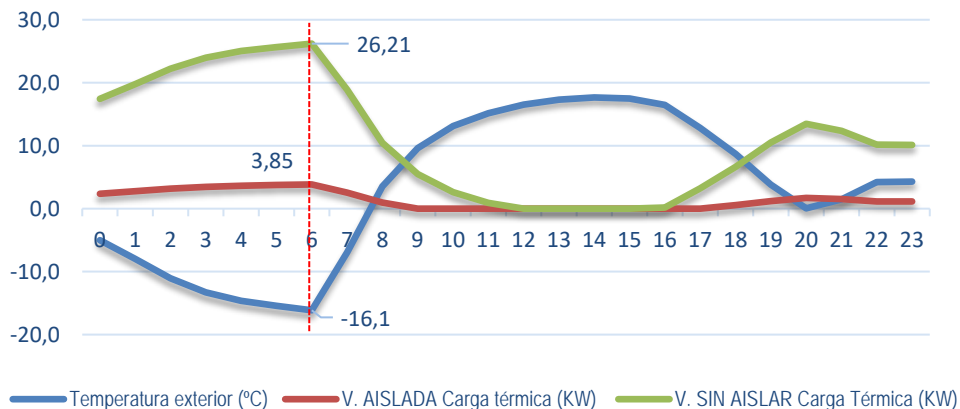


Figura 9. Carga térmica horaria requerida por la vivienda.

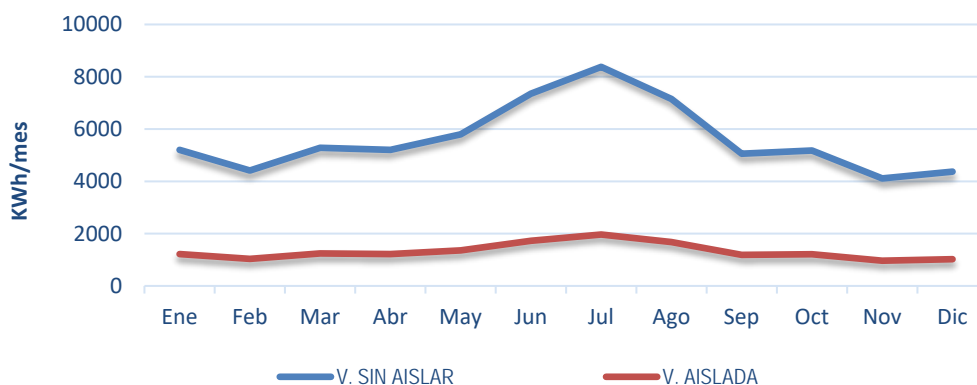


Figura 10. Comparación de pérdidas de calor para la vivienda con y sin aislamiento.

Los datos mostrados en la Figura 10, demuestran que la aplicación de técnicas de construcción bioclimática y mejor aislamiento en las viviendas, pueden ayudar a reducir las pérdidas de calor hasta en un 77%, teniendo mayores pérdidas en el mes de julio equivalente a 297.8 kWh/mes, por tener mayor número de días con bajas temperaturas (heladas).

Estimando la carga térmica horaria de la vivienda, se obtuvo como resultado un consumo máximo de 777.4 kWh/mes en el mes de julio, el cual es equivalente a 25.9 kWh/día, este consumo obtenido será un referente para el dimensionamiento del sistema termo solar, teniendo en cuenta que a la demanda por calefacción, se le sumará la demanda requerida por ACS (Agua caliente sanitaria) para la vivienda, la demanda total que no sea cubierta por el sistema termo solar, se cubrirá con el uso de equipos auxiliares.

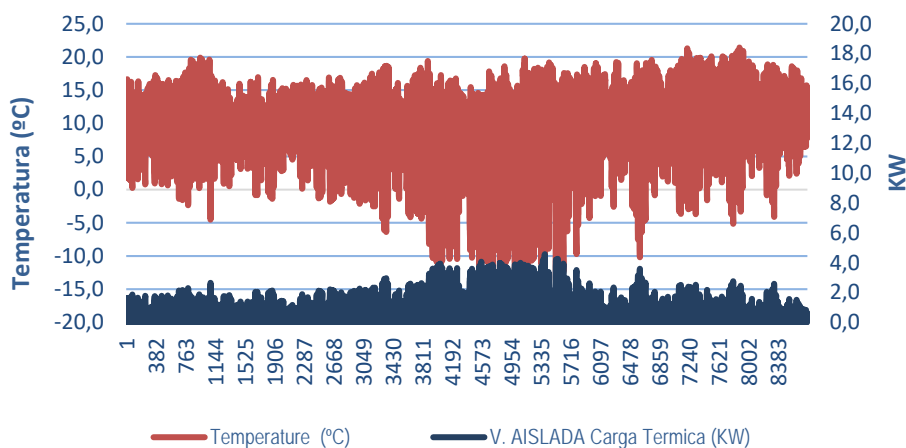


Figura 11. Comportamiento térmico horario de la vivienda aislada

En la Figura 11 se observa el comportamiento de la carga térmica horaria de la vivienda aislada, los meses de junio a agosto donde existe un salto de temperatura mayor, se requerirá mayor consumo de energía térmica para climatizar la vivienda.

2.1.6. DISEÑO y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA TERMO SOLAR

Hay tres áreas de enfoque en los estándares técnicos que son útiles para obtener la información requerida para la estimación del volumen de agua sanitaria y el consumo de energía en los edificios [17]: 1) normas con directrices para el dimensionamiento de los sistemas de distribución de ACS, 2) normas para el diseño de sistemas de energía de ACS y 3) normas técnicas para probar el rendimiento de los dispositivos de calefacción.

Una instalación solar térmica está constituida por un conjunto de componentes encargados de realizar las funciones de captar la energía solar [18], transformarla directamente en energía térmica cediéndola a un fluido de trabajo y por último almacenar dicha energía térmica de forma eficiente en un depósito para poder utilizarla después en los puntos de consumo.

Se realizó el estudio de la demanda energética necesaria para producir A.C.S., para ello nos basaremos en el IDAE, Cuaderno práctico para instaladores editado por el Instituto Catalán de Energía y Documento Básico de Ahorro de Energía HE4⁴.

⁴ En el Anexo 3 se presentan los cálculos de demanda energética de ACS.

Como resultado se obtuvo la Figura 12 de demanda energética (ACS y Calefacción).

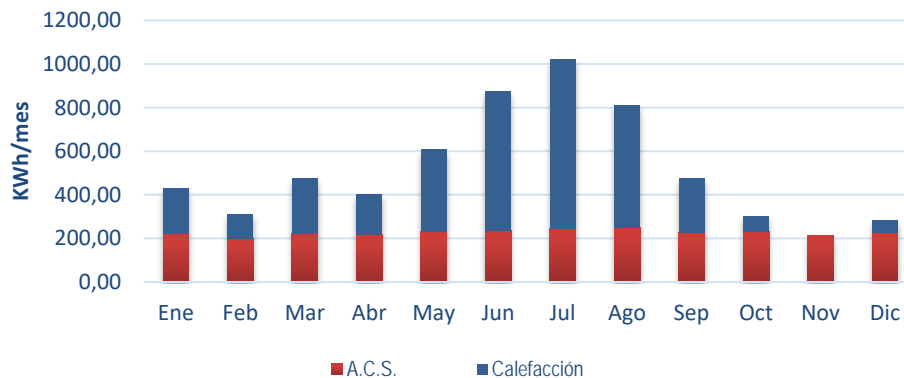


Figura 12. Demanda energética de A.C.S. (color rojo) y de calefacción (color azul).

La demanda a lo largo del año asciende a 6207 kWh/año, teniendo un consumo máximo en el mes de julio equivalente a 1023.3 kWh/mes.

Conocida la demanda energética es necesario realizar un estudio de la cobertura solar que nos aportará el Sol para conocer la superficie necesaria de placas solares para cubrir nuestra demanda energética (ACS + Calefacción). Para definir el número de captadores que necesita nuestra vivienda nos basaremos en el método aportado por el IDAE y por el RITE para instalaciones de A.C.S.

Como resultado de los cálculos se obtuvo una superficie de 11 m² (3 colectores); para ello se diseñó conectadas en paralelo⁵, los colectores seleccionados son de marca Termocan de 1.8 M, modelo AS-300DB con interacumulador solar horizontal y un tanque acumulador de 300 litros⁶.

Realizando una comparativa de la demanda energética total y la aportación solar obtenida teniendo en cuenta nuestro emplazamiento, orientación, grado de inclinación, entre otros. Observamos que cubre el mayor porcentaje de demanda anual, siendo la demanda de energía térmica de los meses de mayo a agosto cubierto en un promedio del 61% (Ver Figura 13).

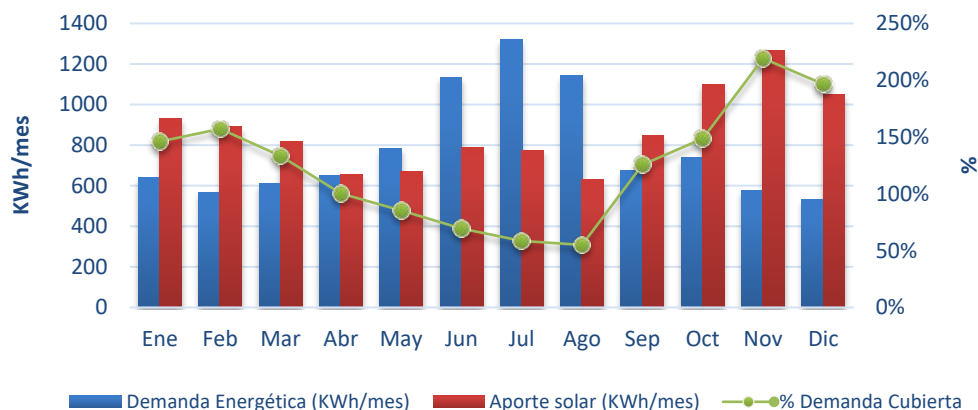


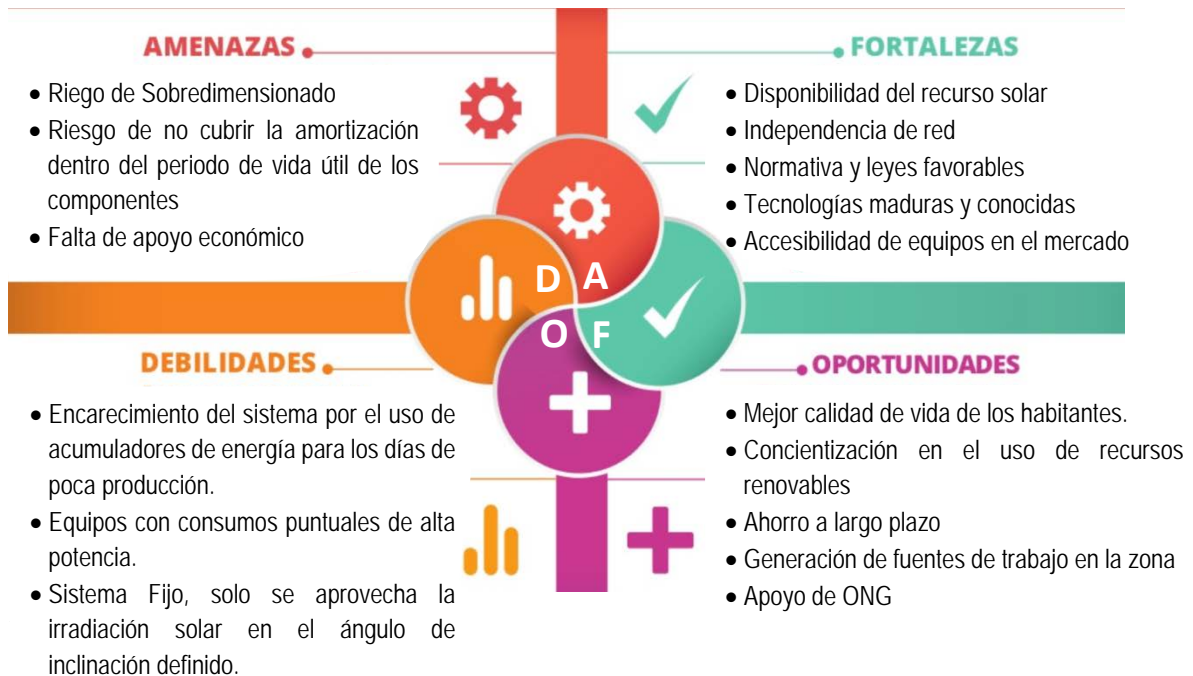
Figura 13. Comparativa demanda energética y aporte solar.

⁵ En el Anexo 4 se desarrolla los cálculos del número de captadores solares y potencia generada.

⁶ Ver en Anexo 5 los datos técnicos del colector seleccionado.

2.2. ELECTRIFICACIÓN

2.2.1. ANÁLISIS DAFO



2.2.2. ESTIMACION Y ANÁLISIS DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA VIVIENDA

Para seleccionar y dimensionar la tecnología a instalar en la generación de energía eléctrica, primero se requiere conocer la demanda de energía eléctrica de la vivienda [19], como dato de partida se conoce que los habitantes de la zona en estudio son de escasos recursos económicos por lo que no cuentan con muchos electrodomésticos y su consumo de energía eléctrica es bajo. En la demanda eléctrica consideraremos el uso de equipos que forman parte del sistema termo solar, para la climatización y suministro de ACS de la vivienda.

Con los datos obtenidos de la demanda eléctrica, calcularemos el potencial de recurso eólico y solar que sea capaz de cubrir esta demanda eléctrica que es de 4.05 kWh/día y se determinará la capacidad de la tecnología a instalar, junto con el dimensionamiento de baterías, inversores y controladores de carga.

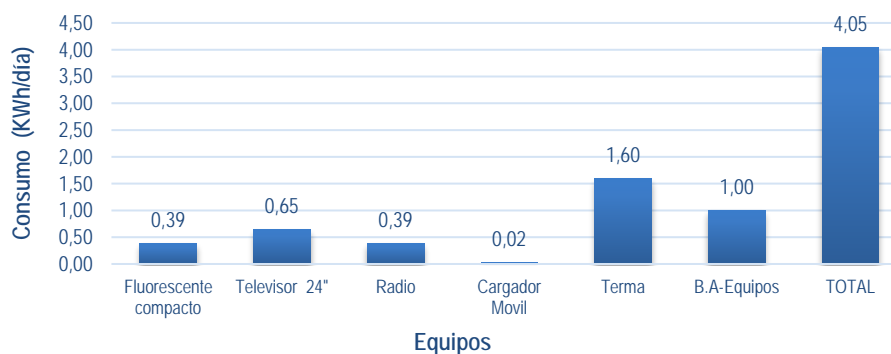


Figura 14. Demanda de energía diaria de una Vivienda (cotidiana y puntual).

Los datos mostrados en la Figura 14, son tomados del Anexo 6, que muestra el detalle de los consumos cotidianos y puntuales en la vivienda. Con esta demanda se definirá una dimensión inicial de la instalación de energía renovable.

2.2.3. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE RECURSO EÓLICO

El Atlas Eólico del Perú muestra que las fuentes eólicas se ubican a 80 metros de altura. Se estima que el potencial de energía eólica del país es de 77,000 MW, de los cuales 22,000 podrían ser explotados. Pese al significativo potencial, la contribución de la energía eólica al sistema interconectado actual es muy limitada. Aún más, el Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER) 2013-2022 incluye una inversión total de US\$ 38 millones en pequeños proyectos de energía eólica fuera de la red (Off Grid), que podría beneficiar a 167 comunidades [20].

La zona de estudio es de topografía plana, existiendo también zonas de superficie ondulada y accidentado con quebradas y cerros (Figura 15. A y B). La energía eólica está sujeta a la ubicación y condiciones existentes en el terreno a ser considerado, visualmente la ubicación presenta zonas boscosas, pendiente de tipo ladera y cerros. Esto puede aumentar la rugosidad del terreno provocando disminución del potencial eólico.



Figura 15. A y B: Vista de la Zona. Fuente: Google

La investigación se desarrolló analizando la dinámica de la dirección y la velocidad del viento en la zona rural de Huancané ubicado en el Departamento de Puno, a 3853 msnm, con el fin de conocer y establecer las potencialidades para la generación de energía eléctrica y, de esta forma, confirmar la viabilidad de producción de energía eléctrica con uso del recurso eólico.

Para el tratamiento de datos estadístico de la zona en evaluación se ha tomado a partir de una serie históricos de treinta años (1987-2017) en forma horaria de velocidad del viento a una altura de 10 y 80 m. del nivel del suelo, obteniéndose como promedio para los años en estudio de los valores correspondientes a cada intervalo de hora considerada. Estos datos fueron proporcionados por la Empresa Meteoblue GA, de igual forma se accedió a data histórica de estaciones meteorológicas del Perú Senamhi cerca de la zona de estudio.

Analizando y al observar una baja velocidad media anual de 3 a 4m/s a una altura de 80 metros, ver Anexo 7 y de 1.8 m/s a una altura de 10 metros como se observa en la Tabla 2. Nos da una respuesta a considerar como uno de los puntos débiles existentes en la energía eólica como fuente renovable para producir energía eléctrica en la zona. En la Tabla 2, se muestran los datos promedios de la data histórica tomada en un periodo de treinta años (1987-2017), se recomienda series de treinta años de medidas para disponer de datos con suficiente nivel de confianza, con

lo que se pretende evaluar el potencial eólico del lugar para analizar la viabilidad de su aprovechamiento energético y cuanto más corta sea la serie, con mayor cautela deberemos elaborar conclusiones [22], teniendo en cuenta que aprovechar la energía eólica del lugar era la primera opción a considerar en el proyecto haciendo uso de turbinas de eje vertical (VAWT).

Tabla 2. Propiedades del Recurso Eólico en la zona de estudio. Fuentes: Atlas Eólico de Perú y Meteoblue.

Información promedio de data histórica 30 años (1987-2017)		
Elevación	3853 metros	
Medición sobre el suelo	10 metros	80 metros
Velocidad Media Anual $\langle V \rangle$	1.9 m/s	3.6 m/s
Factor de Escala (C)	2.10 m/s	4
Factor de Forma (Weibull) (K)	2.7	3.4

Existen diferentes metodologías para la estimación del potencial eólico en proyectos de pequeña escala basados en los datos de velocidad y dirección media del viento, teniendo en cuenta que la potencia eólica está en función de la densidad del aire y el cubo de la velocidad del viento [23]. Hay que tener en cuenta que por sí solo el valor de la velocidad del viento no es base suficiente para explicar el comportamiento del mismo y calcular el potencial energético de una zona determinada; para ello es necesario realizar un análisis estadístico de los datos y de esta manera poder establecer la velocidad del viento media con la que se realizan los cálculos eólicos, para lo cual se utilizó la probabilidad de Weibull (Tabla 2).

Para el proyecto se escalaron los parámetros a la elevación que estaría instalado el generador (aproximadamente 13 metros). Mediante la ley de distribución de Weibull de la velocidad del viento se obtuvo la función de densidad de probabilidad para la velocidad del viento, y por consiguiente el histograma de velocidades del viento en un periodo promedio anual.

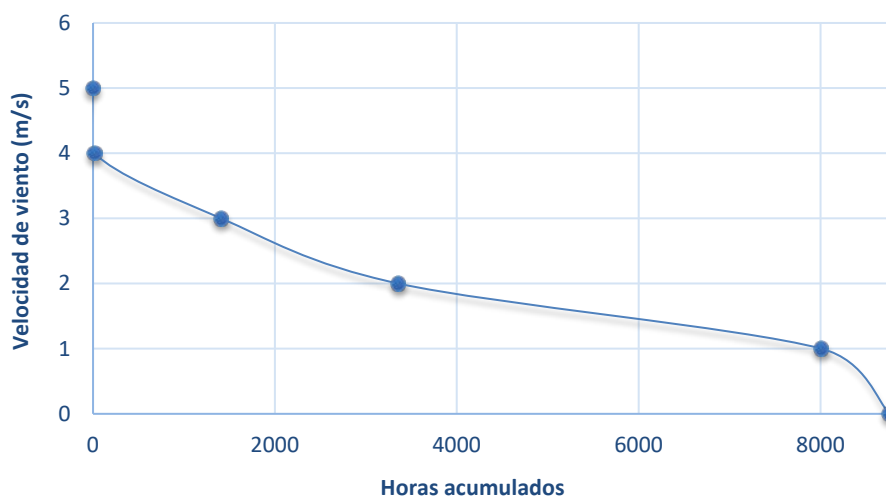


Figura 16. Horas acumuladas al año de la velocidad del viento.

La frecuencia acumulada da lugar a las horas acumuladas de viento en función de su velocidad, siendo esta duración otro indicador útil que se utilizó para discutir la viabilidad técnica de este recurso (Figura 16). Tal como se desarrolló en el Anexo 8.

Con una velocidad media aproximada de 2.02 m/s a una altura de 13 m., y el análisis de los parámetros de viento en el lugar, se hizo una revisión de los aerogeneradores comerciales favorables para trabajar con los datos obtenidos, se tomó en cuenta el uso de aerogeneradores VAWT de 300W y 600W, con los cuales se estimó la energía producida al año.

Tabla 3. Potencia y Energía producida por aerogeneradores verticales usados como referencia. Fuente: Anexo 8.

AEOLOS-V 300W		AEOLOS-V 600W	
Potencia Generada	Energía Producida	Potencia Generada	Energía Producida
0.001 kW	11.00 kWh/año	0.003kW	22.61 kWh/año

Se escogió este tipo de generadores considerando la energía producida desde que el aerogenerador supera su velocidad de conexión (1,5m/s. Anexo 9), y de acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 3 y comparando con los datos de consumo presentados en la Figura 14, concluimos que están muy por encima de lo generado por el recurso eólico, no siendo viable el recurso eólico para cubrir la demanda de electricidad en la vivienda.

2.2.4.EVALUACIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR INCIDENTE

Perú es un país dentro de la zona del trópico (latitudes de 0 – 18° Sur), con niveles de radiación solar muy alta, la zona de estudio Huancané se ubica en el altiplano andino localizada en el Sur del Perú. En el invierno la temperatura puede llegar hasta -17° C, alcanzando un máximo de 19° C en la primavera. En el área el promedio anual de la irradiación solar sobre superficie horizontal es de 6,5 kWh/m². La irradiación mínima ocurre en el mes de junio con 5.5 kWh/m² y la máxima en el mes de octubre con 7,6 kWh/m² Teniendo como mejor orientación optima una superficie inclinada 20° hacia el norte.

Para calcular el potencial solar en la producción anual media de energía eléctrica en la zona de estudio, es necesario primero determinar cuál será la radiación solar incidente sobre las placas fotovoltaicas. La cantidad de energía que una superficie expuesta a los rayos solares puede absorber y esto dependerá del ángulo formado por los rayos solares y la superficie.

Los datos analizados fueron obtenidos de la plataforma PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), la cual es una base de datos europea que presenta información fiable, de igual forma se revisó la data histórica de la estaciones meteorológicas del Senamhi (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). Otro punto tomado en cuenta es el comprobar la regularidad de la radiación solar, para de esta forma poder estimar el margen de error existente. En este sentido se han analizado las medidas obtenidas del PVGIS sobre la actividad de la irradiación solar, que van desde el Año 2005 al 2015 (ver Figura 17). Teniendo en cuenta que en lugar de estudio la inclinación óptima de un módulo solar con un Azimut de 0° orientado al norte es de 20°, para obtener el máximo aprovechamiento de la irradiación. Sin embargo solo se tendrá mayor aprovechamiento en los meses de mayor irradiación, esto se puede estimar mediante el cálculo de las horas equivalentes de sol (HSP o "yield"), el yield de una locación viene dado por la relación entre la irradiación incidente y la irradiancia, éste último la potencia por unidad de área

debido al bombardeo de fotones provenientes del sol, generalmente tiene un valor de 1000W/m^2 , siendo la analogía a la cantidad de horas que el sol ha emitido con este valor durante una hora.

Teniendo en cuenta que, será una instalación fotovoltaica aislada de la red, se optó por evaluar la radiación solar incidente para distintos ángulos de inclinación, analizando los valores mínimos obtenidos para cada ángulo (ver Figura 18) y la mayor irradiación solar en los meses más críticos (Junio – Agosto) y que pueda cubrir la demanda de energía eléctrica de la vivienda incluido el sistema de climatización en estos meses (ver Figura 19), logrando así determinar el ángulo de inclinación idóneo que permita tener las máximas horas de sol equivalentes para cada mes del año, especialmente para los meses más críticos.

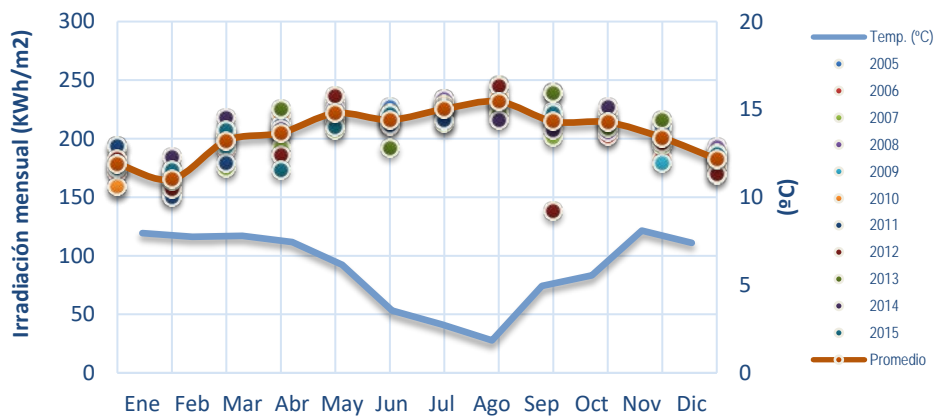


Figura 17. Radiación solar en Huanané (2005-2015)

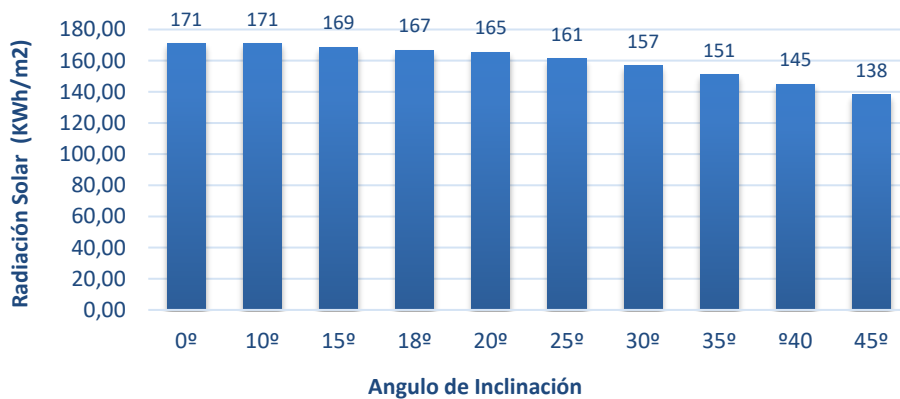


Figura 18. Valores mínimos de la radiación solar incidente sobre un plano inclinado.

Como la instalación fotovoltaica es una estructura fija, en la Figura 18 se puede observar los valores mínimos de la radiación incidente para diferentes ángulos de inclinación. En los sistemas solares fotovoltaicos únicos y autónomos es muy importante tener en cuenta el valor mínimo de la radiación solar diaria, promedio mensual, recibida sobre el panel solar. El ángulo que se debe seleccionar es el que garantice el funcionamiento de la instalación en todas las épocas del año, en dependencia del consumo requerido, bajo este criterio evaluando los datos de la Figura 18 y Figura 19 tomados del Anexo 10. Se seleccionó para el análisis y cálculos el ángulo de inclinación de 20° , al cumplir con los criterios requeridos para los meses más críticos.

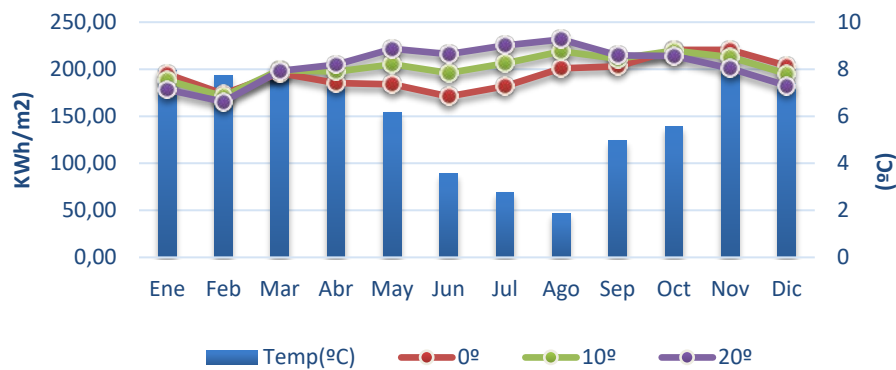


Figura 19. Comparativa de irradiación solar con ángulos de inclinación 0°, 10° y 20°



Figura 20. Horas equivalentes de sol. Inclinación 20°

En la Figura 20, se observan las horas equivalentes para un ángulo de inclinación de 20°, obteniendo con esta inclinación una irradiación total de 2454 kWh/m² año. Finalmente se evaluará el dimensionamiento de la instalación con la producción generada en el mes de febrero, que es el de menor radiación, y así asegurar que se cubrirá la demanda de energía eléctrica de la vivienda durante todo el año.

En la Tabla 4, se muestra los datos de irradiación, irradiancia y HSP calculados para el mes febrero, del cual se partirá para los cálculos de dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Tabla 4. Datos de Irradiación e Irradiancia en Huancané. PVGIS.

Febrero		
Irradiación (H)	Irradiancia (Go)	HSP (yield) = H/Go
5909 Wh/m ²	1000 W/m ² (STC)	5.91 horas

2.2.5. DIMENSIONAMIENTO Y CONSIDERACIONES DEL SISTEMA DEL ELECTRIFICACIÓN ELEGIDO

2.2.5.1. DIMENSIONAMIENTO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Al dimensionar un sistema fotovoltaico que pueda cubrir la demanda eléctrica de la vivienda de 4.05 kWh/día, se debe tener en cuenta el concepto de balance de energía, y para ello se consideran dos elementos fundamentales [26].

- La demanda de carga diaria típica (cotidiana y puntual). Este concepto debe ir acompañado del detalle de consumo a lo largo del día, para el análisis que se realiza en este estudio se considera la cantidad de energía consumida en un día.
- La cantidad de HSP (Horas solares pico), o también conocidas como las horas equivalentes que deben corresponder al período crítico de la operación del sistema, en este caso se evalúa con el mes de febrero; y con un ángulo de inclinación de 20°.

Para realizar los cálculos y establecer el número de módulos o paneles fotovoltaicos en función de las condiciones de radiación más desfavorables, primero tenemos que tener en cuenta el tipo de módulo a usar, para este estudio escogeremos un módulo del tipo policristalino por su bajo costo. Para realizar este cálculo se ha elegido módulos marca Termicol de 240 W de potencia nominal y sus características se muestran en el Anexo 13.

La potencia que suministre la planta fotovoltaica ($P_{P.V.ARRAY}$) durante el número de horas equivalentes HSP, debe igualar a la energía eléctrica requerida por la demanda (E_L) (ver Tabla 5), para instalaciones de uso diario como es el caso se utilizara la (Ec. 8).

$$P_{P.V.ARRAY} = \frac{E_L}{n_{B.O} * PR * HSP} \quad (Ec. 8)$$

Con la potencia obtenida del total de módulos, la cantidad de los mismos debe ser ordenada mediante una matriz que comprenda módulos conectados en serie (N_{MS}) y paralelo (N_{MP}), a fin de cumplir con el voltaje y amperaje por unidad de tiempo requeridos. (Ec. 9) y (Ec. 10)

$$N_{MS} = \frac{V_{SISTEMA}}{V_{MPP}} \quad (Ec. 9)$$

$$N_{MP} = \frac{V_{SISTEMA}}{N_{MS} * P_{MOD}} \quad (Ec. 10)$$

El voltaje con el que trabajará cada módulo debe ser el de máxima potencia (V_{MPP}), para lo cual es necesario hacer uso de reguladores de carga con tecnología MPPT (optimización de la curva voltaje-intensidad para producir mayor potencia), de este modo se aprovecha la máxima potencia de los módulos (P_{MOD}) [27].

El número total de módulos fotovoltaicos es el producto de ambas expresiones (EC. 8 y EC. 9).

Tabla 5. Balance de energía

Balance de Energía (Febrero)				
Pot. nominal por módulo seleccionado ^a	Nº módulos calculados ^b	HSP ^c	Energía producida por el sistema (a*b*c*Yp) ⁷	Energía demandada
0.24 W	4	5.91 hrs	4.9 kWh/día	4.05 kWh/día

En la Tabla 5 se muestra un balance de energía entre: la energía producida por el sistema fotovoltaico en el mes de febrero y la energía demandada por la vivienda, tal como se describe en el apartado 2.2.3, se estimaron los cálculos con el mes de febrero, por ser el mes con menor

⁷ Yp: representa las horas efectivas del funcionamiento del módulo, este se calcula multiplicando el HSP por el coeficiente de rendimiento del módulo, los detalles de los datos calculados se muestran en el **Anexo 11**.

incidencia de radiación solar y así asegurar que se cubrirá la demanda de energía eléctrica de la vivienda durante todo el año.

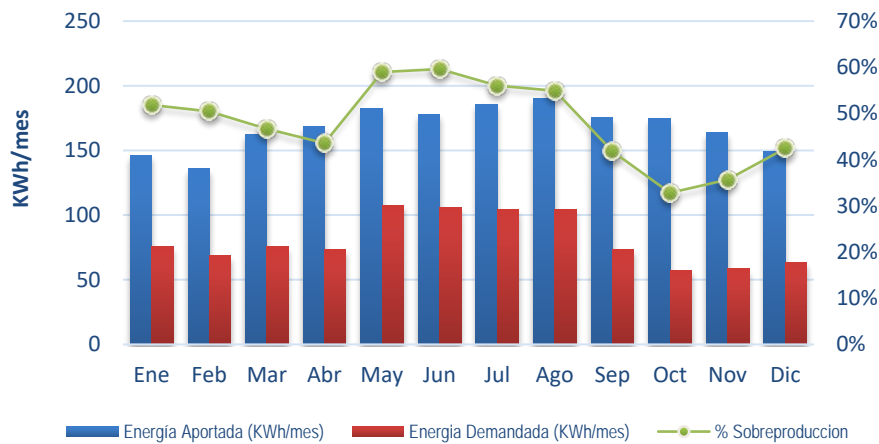


Figura 21. Comparativa entre energía aportada por el sistema y energía demandada

La Figura 21 muestra la energía eléctrica producida por el sistema fotovoltaico durante el año, se observa que la energía producida supera a la demandada hasta en un 48%, logrando tener la certeza de contar con el suministro eléctrico en la vivienda y el abastecimiento de las baterías para los dos días de autonomía.

2.2.5.2. DIMENSIONAMIENTO DE BATERÍAS

Debido al desplazamiento temporal que puede existir entre los periodos de generación y consumo de electricidad, se emplean elementos de acumulación para permitir la operación de las cargas cuando el generador fotovoltaico no puede generar suficiente potencia para abastecerlas. La fiabilidad de la instalación global reside en gran medida en la eficiencia y correcto dimensionado del sistema de acumulación, por lo que se les da una alta importancia a estos elementos.

El consumo diario y el potencial eléctrico definen la capacidad de almacenamiento del banco de baterías, esta capacidad se establece estacional o diariamente. En la primera se considera un periodo en el cual el banco de baterías será lo que proporcione el suministro eléctrico incluyendo el factor "autonomía" (factor crítico que caracteriza al sistema aislado), definiendo el número de días que el proyecto estará aislado de la parte de generación, 2 días considerados para una ubicación con latitud de 15° (Tabla 1) [26]; el segundo tipo de consumo analiza la capacidad necesaria en caso de que se considere el gasto realizado a los acumuladores durante un día. En ambos casos interviene la relación de la demanda (E_L) y/o días de autonomía (N_D) con la profundidad de descarga máxima " DOD_{MAX} " (estacional o diaria) que define el máximo porcentaje de descarga que sufrirán los acumuladores, con el fin de alargar la vida útil de las baterías, la práctica habitual fija un 80% [28], voltaje del sistema (V_{SIST}) y eficiencia de equipos (n_{BO} , n_{BAT}). Se considera la mayor capacidad de almacenamiento entre estacional (Ec. 11) o diaria (Ec. 12) para el diseño.

$$C_{S,E} = \frac{E_D * E_L}{DOD_{MAX,EST} * V_{SIST} * n_{B.O} * n_{BAT}} \quad (Ec. 11)$$

$$C_{S,D} = \frac{E_L}{DOD_{MAX,DIA} * V_{SIST} * n_{B.O} * n_{BAT}} \quad (Ec. 12)$$

Una vez se conocida ambas capacidades, se escoge la mayor para el dimensionado, pues tiene mejor margen de seguridad, $C_{S,D} = 1064.90 \text{ Ah} = 5.11 \text{ kWh}$.

Al igual que los paneles, es necesario un arreglo que permita cumplir las necesidades del sistema aislado, y según sea el caso deben existir conexiones en serie (relación entre los voltajes del sistema y de las baterías (Ec. 13) y/o paralelo (relación entre la capacidad de almacenamiento y la capacidad de la batería (Ec. 14)

$$N_{BS} = \frac{V_{SIST}}{V_{BAT}} \quad (\text{Ec. 13}) \qquad N_{BP} = \frac{C_S}{C_{BAT}} \quad (\text{Ec. 14})$$

La cantidad total de baterías requeridas es de 3 y se obtiene mediante el producto entre ambas expresiones (Ec.13) y (Ec.14). Para nuestro sistema se ha considerado la batería Rolls 48V 480Ah/C100 375Ah/C20 (Anexo 14).

2.2.5.3. DIMENSIONADO DE INVERSOR

El inversor seleccionado se encarga de convertir la corriente continua del banco de baterías en energía aceptada por los equipos consumidores finales, es decir [27], convierten la tensión de 48V de corriente continua en 230V de corriente alterna.

La tensión de entrada en un inversor no es siempre constante, luego este debe poder transformar distintas tensiones continuas dentro de un rango determinado (en torno a un 15 %). Para dimensionar el inversor se tomó cuenta la potencia demandada por las cargas AC, de modo que se escoge un inversor cuya potencia nominal sea un 25% superior a la carga demandada. La potencia mencionada se obtiene con la suma de las potencias que presentan los equipos (P_{RS}), y los equipos que presentan corrientes de arranque por periodos cortos de tiempo (P_{LSC}) (corriente de arranque aproximadamente 3 veces la nominal) (Ec. 15).

$$P_{INV} = 1.25(P_{RS} + 3P_{LSC}) \quad (\text{Ec. 15})$$

Además, se debe evitar el sobredimensionado del convertidor para hacerlo trabajar en la zona donde trabaja con mayor eficiencia. La aproximación que se llevará a cabo en este trabajo será considerar coeficientes de simultaneidad de uso, de este modo se evita sobredimensionado del equipo inversor, teniendo como fundamento que no todos los equipos funcionan de manera simultánea, el cálculo de la potencia máxima utilizada puede ser obtenida mediante el producto de la potencia de los equipos de manera sectorizada y el factor de simultaneidad de cada sector de la vivienda, según la Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-25 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT).

Dado que la potencia máxima estimada es $P_{maxd} = 2.3 \text{ W}$, se escoge el inversor que tiene una potencia de salida superior a la estimada. Por lo tanto, se escoge el inversor SOLAR de onda senoidal pura 48V/220Vca 2500W.

2.2.5.4. DIMENSIONADO DEL REGULADOR DE CARGA

Dado que el regulador controla las cargas y descargas de la batería, es primordial conocer la corriente máxima que circula por la instalación para su correcto dimensionado. Para ello, se calcula la corriente que produce el generador y la corriente que consume la carga; la máxima de estas dos corrientes será la que debe soportar el regulador [29][30].

En el mismo dispositivo se selecciona la corriente de corte a la que actúa el regulador, pero ha de soportar la máxima corriente que puede producir la instalación. Por lo tanto, la máxima corriente que puede producir el generador es la corriente de cortocircuito, o corriente de entrada al inversor IRE, y la cual se obtiene con la Ec. 16.

En el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE se indica que el regulador de carga seleccionado debe ser capaz de resistir sin daño, a temperatura ambiente, una sobrecarga simultánea de:

- La corriente de la línea del generador un 25% superior a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico en condiciones estándar.
- La corriente en la línea de consumo un 25% superior a la corriente máxima de la carga de consumo.

Además, la tensión nominal del regulador debe coincidir con la tensión nominal del sistema de acumulación, por lo que será de 48V.

$$I_{RE} = I_{GFV,SC} = 1.25 * I_{SC} * N_{MP} \quad (Ec. 16)$$

En la Ec. 16, $I_{GFV,SC}$ y $I_{MOD,SC}$ representan las corrientes de cortocircuito del generador y del módulo fotovoltaico respectivamente.

La intensidad que consume la carga I_C , o intensidad de salida del inversor I_{RS} , se obtiene teniendo en cuenta la corriente máxima de dicha carga como muestra la (Ec. 17).

$$I_{RS} = I_C = \frac{P_{AC}}{n_{inv} * V_{BAT}} \quad (Ec. 17)$$

Donde P_{AC} representan la potencia de las cargas en AC, y n_{inv} rendimiento del inversor.

La máxima corriente que debe soportar el regulador será la mayor entre la llegada del generador y la consumida por las cargas: $I_R = \max(I_{GFV,SC}; I_C)$.

El Regular de carga del sistema tendrá una intensidad de carga de 20.53 A y una potencia de salida de 54.82 A = 2.6 KW.

3. RESULTADOS

Los cálculos de dimensionado de las distintas etapas han sido realizados considerando los grupos de equipos que serán energizados, demanda cotidiana y demanda puntual o periódica.

3.1. CONSTRUCCIÓN BIOCLIMÁTICA.

En Tabla 6 se presenta un resumen comparativo del comportamiento térmico en un vivienda simple sin aislamientos y la vivienda bioclimática, claramente se observa que hay una importante reducción en la demanda anual de energética térmica, logrando reducir de 58990 Kwh/año para una vivienda simple sin aislamientos hasta 3489 kWh/año para una vivienda bioclimática.

Mediante el análisis de estos datos, se lograron determinar los valores de las cargas térmicas de las viviendas y posteriormente permitió dimensionar un sistema termo solar para cubrir la demanda térmica que no se logre cubrir con las técnicas bioclimáticas.

Tabla 6. Cuadro resumen de Demanda térmica requerida para las viviendas

Mes	VIVIENDA SIMPLE SIN AISLAR			VIVIENDA BIOCLIMÁTICA		
	GANANCIAS (KWh/mes)	PERDIDAS (KWh/mes)	Energía Térmica Requerida (KWh/mes)	GANANCIA (KWh/mes)	PERDIDAS (KWh/mes)	Energía Térmica Requerida (KWh/mes)
Enero	667,83	5205,13	4537	1014,78	1221,21	206,4
Febrero	628,82	4411,39	3783	922,86	1034,99	112,1
Marzo	634,34	5285,24	4651	986,63	1240,00	253,4
Abril	686,69	5201,34	4515	1033,38	1220,32	186,9
Mayo	697,87	5797,80	5100	984,07	1360,26	376,2
Junio	712,28	7352,30	6640	1086,87	1724,97	638,1
Julio	762,14	8378,12	7616	1188,20	1965,65	777,4
Agosto	782,02	7152,45	6370	1116,44	1678,08	561,6
Septiembre	721,36	5058,39	4337	938,51	1186,78	248,3
Octubre	800,71	5178,38	4378	1145,87	1214,93	69,1
Noviembre	742,07	4112,02	3370	1016,16	964,75	0
Diciembre	674,23	4368,15	3694	965,39	1024,84	59,4
TOTAL			58990			3489,0

3.2. INSTALACIÓN TERMO SOLAR.

De acuerdo al desarrollo en el **Anexo 4**, quedaría definida de la siguiente manera la instalación:

Tabla 7. Requerimiento en colectores termo solares.

Demanda E. Térmica (julio)	1023.3 kWh/mes
Mes con Mayor Demanda	Julio
E. Térmica Producida (julio)	590.36 kWh/mes
% Demanda cubierta	60%
Eficiencia del sistema	35%
Superficie total de los colectores	11 m ²
Superficie de absorbancia neta	10.8 m ²
Total Colectores (en paralelo)	3

En la Tabla 7, se muestra que serían necesarios 3 colectores termo solares, con una superficie total de 11 m² conectados en paralelo, los cálculos se desarrollando teniendo en cuenta que el mes de julio presenta mayor demanda de energía térmica, por tener mayor cantidad de días con bajas temperaturas (Heladas),

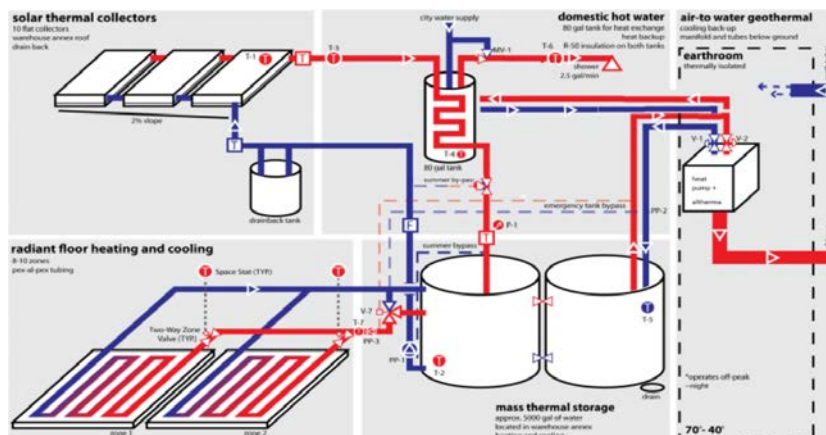


Figura 22. Representación final del sistema termo solar.⁸

⁸ Fuente de consulta: <https://www.solarweb.net/forosolar/solar-termica/36029-esquemas-ac-s-piso-radiante-posiblemente-pileta.html>

3.3. INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.

De acuerdo al desarrollo en el **Anexo 11**, quedaría definida de la siguiente manera la instalación:

Tabla 8. Requerimiento en módulos fotovoltaicos.

Demanda	4.05 kWh/día
Potencia a Instalar	0.96 kW
Potencia de Módulo	240 W
Módulos en Conexión en Serie	2
Módulos Conexión en Paralelo	2
Total Módulos	4

En la Tabla 8, se muestra que serían necesarios 4 paneles solares, 2 en serie con la finalidad de cumplir con el voltaje mínimo que requiere el sistema que son 48V (definido por las baterías), en este caso se hace uso del voltaje MPP (máximo punto de potencia), esta propiedad la regula el controlador de carga, la finalidad es aprovechar al máximo la potencia que puede otorgar cada módulo y utilizar la cantidad óptima necesaria de los mismos; 2 ramales en paralelo para conseguir la intensidad por unidad de tiempo que necesitan los equipos.

Con el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se tiene cubierto la demanda de energía eléctrica en la vivienda al 100% y además se obtiene un excedente de producción del 48%, garantizando la fiabilidad del sistema y contar con los 2 días de autonomía mediante el uso de las baterías (ver Figura 23).

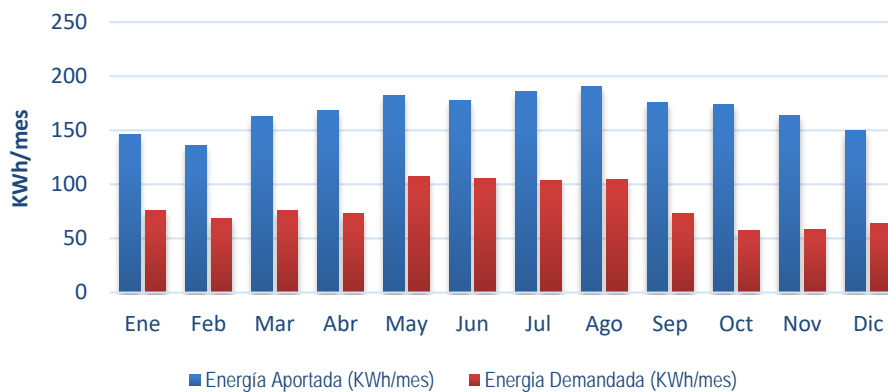


Figura 23. Comparación energía aportada vs energía demandada en la vivienda

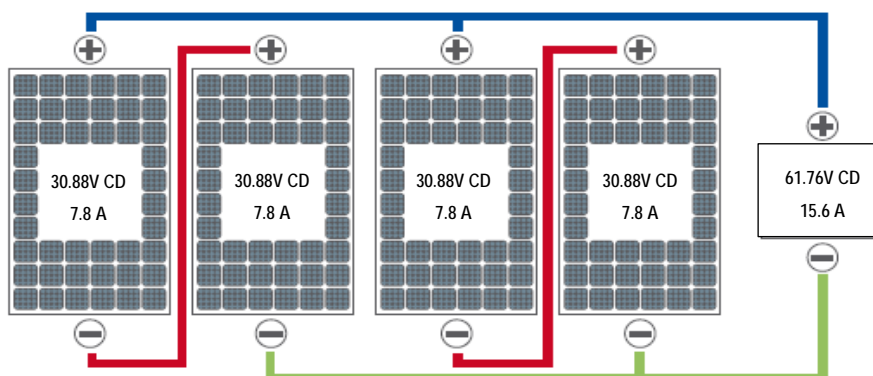


Figura 24. Estructura de conexión de los módulos fotovoltaicos en serie y paralelo

El sistema solar fotovoltaica queda definida de este modo (Figura 24), será la configuración base para alimentar la demanda diaria cotidiana. Siendo utilizados 4 módulos TERMICOL- A240P GSE de 240 vatios, especificaciones en el Anexo 13.

3.4. BANCO DE BATERÍAS

Fueron consideradas pérdidas y la descarga máxima que podrán tener (para prolongar la vida útil de las baterías), la carga que utilizó fue para la demanda de carga diaria, por ser mayor que la estacional, la batería utilizada tiene una capacidad de 375Ah, esta capacidad está definida para C20, la capacidad que ofrecería para una descarga en un tiempo de 20 horas, a pesar que las baterías presentan varias capacidades, la C20 es comúnmente utilizada para cuestiones de diseño, dado que los periodos de utilización de la energía son diarios (24 horas).

Tabla 9. Requerimientos para el sistema de baterías.

Días de Autonomía	2 días
Descarga Máxima Diaria	10%
Capacidad de Almacenamiento estacional requerida	1064.9 Ah
Capacidad de Baterías	375 Ah
	480 Ah
Baterías Conexión en Serie / Paralelo	1 / 3
Total Baterías	3

Como resultado se necesitarían 3 baterías de iguales características. Se ha considerado una batería ROLLS de 48V, 375 AH (C20) / 480Ah (C100).

3.5. INVERSOR

Dado que no existen perfiles de demanda óptimos que permitan conocer de primera mano los picos de potencia existentes en el sistema a diversas horas del día, se ha considerado válido calcular la potencia necesaria de inversor mediante la simultaneidad de uso de los equipos de la vivienda.

Tabla 10. Dimensión del inversor o Grupo de inversores.

Potencia Instalada	4.48 kW
Factor de Simultaneidad (Según criterio de Aplicación)	Iluminación: 0.75
	Baño: 0.4
	Toma de uso General: 0.2
	Bombas y Equipos: 0.8
Potencia de Inversor (en TOTAL)	2.5 kW

3.6. REGULADOR DE CARGA

El regulador de carga se convierte en un elemento crítico del sistema fotovoltaico ya que es el que permite el máximo aprovechamiento de la irradiación por parte de los paneles y así trabajar con la potencia pico que especifica el fabricante, el regulador viene definido por los siguientes parámetros (Anexo 12):

Tabla 11. Parámetros del Regulador de Carga.

Regulador de Carga con tecnología MPPT	
Intensidad de entrada	20.53 A
Intensidad de salida	54.82 A

3.7. REPRESENTACION DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos anteriormente el sistema autónomo queda representado del siguiente modo:

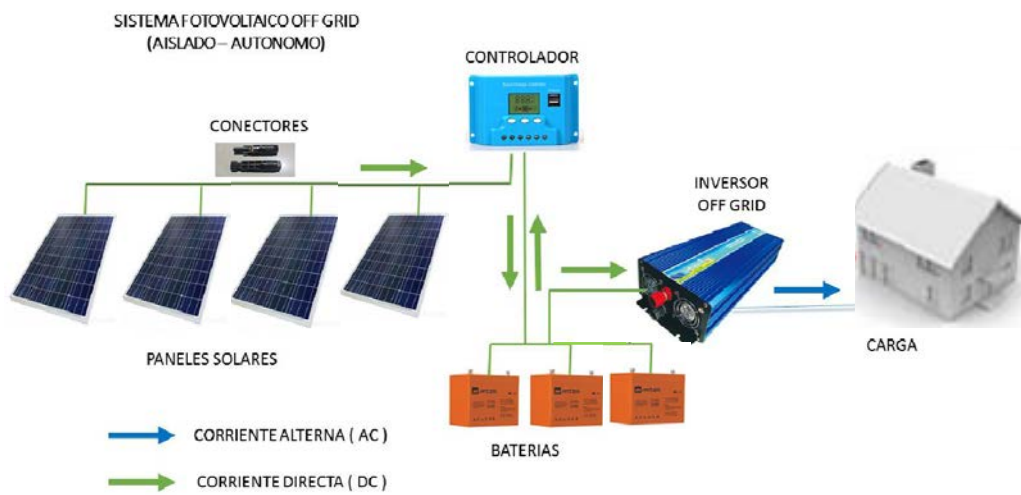


Figura 25. Representación final del sistema fotovoltaico aislado.

4. RESUMEN DE ESPECIFICACIONES BÁSICAS DEL PROYECTO

Los datos concluyentes del proyecto quedan enlistados en la Tabla 12, se muestra un resumen de las características que se han logrado concluir en la propuesta:

Tabla 12. Especificaciones básicas del Proyecto.

Datos de la Instalación
Tipo/Uso: Vivienda unifamiliar (4 personas)
Localización: Huancané – Puno (Perú)
Superficie: 36 m ²
Consumo diario: 4.05 kWh/día
Consumo Anual Proyectado: 1478 kWh
Datos del Proyecto
Objetivo Inicial: Aprovechamiento del recurso renovable y técnica Bioclimáticas para electrificación y climatización de viviendas en zonas rurales alto andinas
Trabajos Realizados: Análisis de técnicas de construcción bioclimáticas, análisis de materiales aislante de la zona y dimensionamiento de sistema termo solar para la climatización de la vivienda. Análisis de la irradiación incidente en la locación del proyecto, dimensionado de la instalación solar fotovoltaica, baterías, inversores y controladores de carga para la electrificación de la vivienda
Datos de Sistema de Climatización /Sistema Termo Solar
Energía térmica Demandada (Calefacción y ACS): 33 KWh/día
Orientación: Norte
Técnica de construcción: Vivienda bioclimática
Inclinación de Módulos termo solar: 20°
Área de módulos: 11 m ²
Vida útil estimada de instalación: 15 - 20 años

Datos de Sistema de Generación Eléctrica Solar Fotovoltaico	
Potencia FV necesaria calculada: 4,9 kWp	
Orientación de paneles FV: Norte	
Inclinación considerada: 20° (inclinación optima)	
Área total de paneles: 6.5 m2	
Potencia CA de inversor: 2.5 kW	
Capacidad total disponible en baterías: 1064.90 Ah	
Vida útil estimada de instalación: 20 – 25 años	
Componentes de la Instalación FV	
Planta FV: 4 paneles FV de 240Wp	
Sistema Acumulador: 3 baterías cada una con capacidad de 375Ah C20	
Sistema Regulador de Carga: Tecnología MPPT, Intensidad de carga: 20.5 A, Pot. De salida: 54.82A	
Sistema Inversor: Inversor de 2.5 kW	

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

Realizaremos un estudio rápido de la de la viabilidad económica de la instalación de un sistema fotovoltaico y termo solar como el desarrollado. A continuación, en la Tabla 13 se presenta los tipos de costes diferentes (IVA incluido) que se van a tener en cuenta en la instalación del sistema fotovoltaico y Termo solar, posteriormente se desglosan los más importantes.

Tabla 13. Costes de Instalación Fotovoltaica y Termo Solar.

Descripción	Coste (€)
Sistema Fotovoltaico y Termo solar	9.751,15 €
Cableado (1%)	97,51 €
Imprevistos (8%)	780,09 €
Protecciones (1%)	97,51 €
Otros Gastos (13%)	1.267,65 €
TOTAL	11.993,91 €

En la Tabla 13 se ha tenido en cuenta porcentualmente algunos gastos que se dan en todas las instalaciones fotovoltaicas. Los porcentajes han sido elegidos según los gastos ocasionados en otros estudios similares donde se ha desglosado con detalle de donde proviene el gasto total. Sin embargo, en este caso particular, al tratarse de unos valores muy pequeños comparados con el coste total del sistema se han tomado como porcentajes.[31].

En la Tabla 14 se desglosan los precios de los elementos necesarios para el sistema fotovoltaico y termo solar. Los precios de los componentes han sido obtenidos de páginas web de empresa distribuidoras o de otros proyectos y ejemplos que emplean el mismo modelo seleccionado.

Tabla 14. Precios elementos del sistema fotovoltaico y termo solar.

Elemento	Unidades	Precio Unitario (Inc. IVA)	Importe Total (Inc. IVA)
Modulo Fotovoltaico Termicol 240W	4	159,84 €	639,36 €
Kit Termo Solar	3	1.249,12 €	3.747,36 €
Bateria	3	1.276,80 €	3.830,40 €
Regulador	1	471,90 €	471,90 €
Inversor	1	951,75 €	951,75 €
Soporte para el Tejado	2	55,19 €	110,38 €
TOTAL			9.751,15 €

Al tratarse de un sistema de autoconsumo (off grid) no genera ingresos, pues el exceso de la electricidad no se vende a la red, pero para el análisis económico se toman como ingresos el ahorro correspondiente de electricidad que consumiría la vivienda en condiciones normales. Dicho gasto mensual se representa gráficamente en la Figura 26 y conlleva un gasto total anual de 789.21 euros.

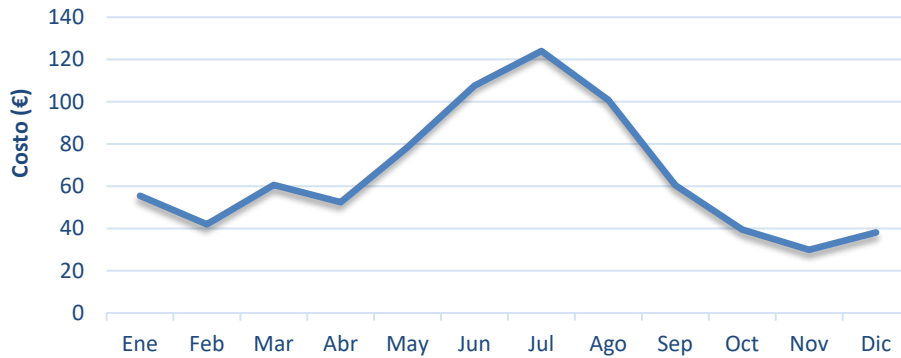


Figura 26. Coste mensual de la electricidad en la vivienda

La Figura 26 representa los valores de los costes de electricidad de todo un año para una vivienda rural unifamiliar. El precio de la electricidad se consideró como 0.11 €/KWh [32].

Si se compara el desembolso inicial con los ingresos estimados del ahorro de la Figura 26, se puede obtener el tiempo estimado del retorno de la inversión inicial. Este tiempo estimado o payback, se muestra en la Figura 27.

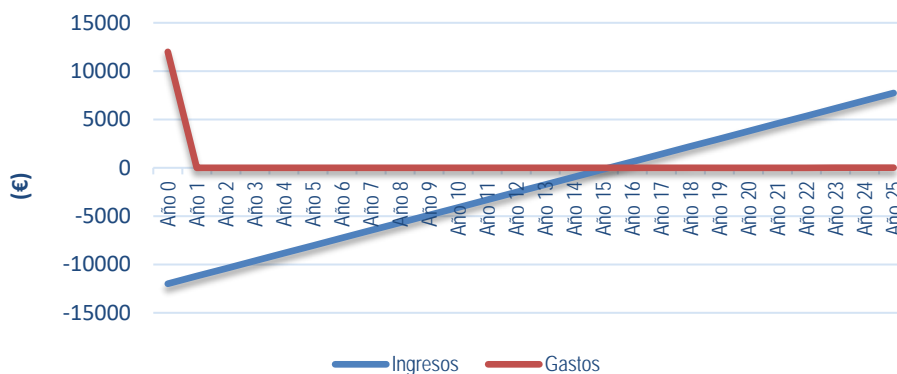


Figura 27. Esquema del Retorno de la inversión

La Figura 27 muestra como a partir del año dieciséis desde el inicio de la actividad se puede haber devuelto la inversión inicial. Los gastos no llegan a considerarse nulos ningún año debido a que siempre pueden ocurrir imprevistos y se debe realizar un mantenimiento periódico trimestralmente.

Teniendo en cuenta que el tiempo de vida del proyecto es de 25 años y durante ese tiempo, se incurrirán en diversos gastos como operación y mantenimiento del sistema y otros. Estos gastos sumados a los cotes de inversión hacen que la energía producida durante el tiempo de vida del proyecto tenga un coste unitario que, para efectos de este proyecto, el coste unitario de la energía producida con los sistemas instalados es de 0.128 €/kWh, estando levemente por encima del cote unitario de la electricidad por red.

Es importante tener en cuenta que el retorno de la inversión calculado no es totalmente preciso, ya que se han tomado varias estimaciones de los costes aproximadas y pueden ser imprecisas. Sin embargo, con estos cálculos se permite valorar la viabilidad de la instalación en un periodo a medio-largo plazo. En este análisis no se han tenido en cuenta las ayudas ofrecidas por el Estado ni por entidades de apoyo social.

6. CONCLUSIONES

Se puede afirmar que Huancané como otros lugares de la zona altoandinas donde los pobladores están expuestos a climas agrestes como friajes y heladas, cuentan con los recursos renovables suficientes, como la energía solar y materiales de la zona que les permite tener acceso a la electricidad y una vivienda confortable, pero el poco o completo desconocimiento de los pobladores sobre la aplicación de estos recursos y la falta de apoyo, hacen que sigan siendo víctimas de los friajes y heladas que año tras año cobra vidas de niños y ancianos.

La arquitectura bioclimática requiere de condiciones que beneficien tanto al proyecto como a la naturaleza; para ello se cumplen los principios de arquitectura bioclimática como una buena orientación en la construcción de noreste a la entrada y materiales para el aislamiento térmico en los pisos, techos y paredes. Teniendo en cuenta la geometría del clima, el viento, ventilación cruzada y el invernadero al costado de la vivienda. Teniendo en cuenta estos criterios se es posible mejora el confort de una vivienda ubicada hasta en las zonas de climas muy fríos reduciendo su pérdida de calor hasta en un 77%.

Con la propuesta de la vivienda bioclimática se reducen las pérdidas de calor, lo que origina un incremento de la temperatura dentro del ambiente con respecto a la temperatura exterior y tiene un coste aproximado de inversión de 7698.6 € por vivienda con un área de 36 m².

Para el ACS y calefacción se propuso la instalación de un sistema Termo solar, que consta de 3 colectores con un área total de 11m², 1 tanque acumulador de 300 l/día, y sus respectivos accesorios y equipos menores, este sistema produce una energía térmica de 7815.1 kWh/año, y tiene un coste de inversión de 3747.36 €, con un periodo de vida de 15 a 20 años. Cubre en promedio un 61% de la demanda en los meses más fríos de mayo a agosto y el resto de meses los cubre al 100%. El coste unitario aproximado de la energía producida es de 0.08 €/kWh.

Para cubrir la demanda de electricidad en la vivienda, de 4.05 kWh/día, se propuso la instalación de un sistema fotovoltaico, el sistema propuesto es para una vivienda aislada de la Red (Off Grid), y está conformado por 4 módulos fotovoltaicos marca TERMICOL modelo A240P GSE, de 240 vatios cada uno, 3 baterías marca ROLLS de 48V, 375 AH (C20) / 480Ah (C100), estimado para una autonomía de 2 días, 1 inversor de 3 kW y 1 controlador de carga con una potencia de salida de 54.82 A (2.63 kW), el sistema tiene una potencia instalada de 0.96 kW y una producción anual de 967.63 kWh/año, llegando a cubrir el 100% de demanda mensual, y con un excedente de producción promedio del 48%, esta sobredimensión es precisamente para que en días nublados o de baja producción, este exceso de energía producida en horas de bajo consumo se almacenen en baterías y posteriormente ser consumidas por las noches cuando no hay producción de energía, normalmente se estima una autonomía de 1 a 3 días en caso de días nublados, para efectos del proyecto se consideró 2 días de autonomía.

El sistema fotovoltaico tiene un costo de inversión de 8246.55 €, con un periodo de vida de 20 a 25 años, el coste unitario de energía de este sistema es de 0.20 €/kWh. Tener en cuenta que lo que encarece un sistema fotovoltaico son el número de baterías que se tenga que instalar para tener una autonomía que garantice el suministro eléctrico continuo en la vivienda, en general el sistema termo solar y fotovoltaico tienen un retorno de la inversión transcurrido dieciséis años desde el inicio de actividades.

Queda demostrado que es viable la autonomía en el consumo de energía eléctrica en viviendas rurales aislada en la zona del altiplano, puesto que cuentan con un gran potencial de energía solar, y aunque actualmente no es aprovechado en algunas zonas rurales de Huancané debido a los costos moderados que conllevan la instalación de estos sistemas fotovoltaicos y sus componentes. La mayoría de estos proyectos en las zonas aisladas, buscan ser subvencionados económicamente por el Estado Peruano u alguna organización de apoyo social.

7. RECOMENDACIONES

Actualmente existen diferentes softwares diseñados para la simulación de eficiencia energética en Edificios y diseños de sistemas Eólicos, solar térmico y fotovoltaicos, en el presente proyecto no se ha hecho uso de estos programas, los cálculos han sido efectuados de forma manual y mediante el desarrollo de plantillas de cálculo en Excel. Para un trabajo posterior puede recomendarse la aplicación programas, y tener resultados más detallados en el dimensionamiento de los sistemas.

Para ampliar el alcance que tiene el proyecto se puede considerar establecer un análisis económico más detallado que involucre un estudio de costos de adquisición de equipos, ahorro energético y mantenimiento con la finalidad de complementar más al análisis ya establecido en este trabajo.

Actualmente existen grupos de investigación en universidades como la PUCP, UNI y apoyo de entidades como Care-Perú y Sencico que vienen desarrollando proyectos de investigación en climatización y electrificación en zonas rurales altoandinas, se recomienda que el Estado Peruano continúe promoviendo proyectos de inversión de apoyo a estos pobladores de las zonas altoandinas, juntar esfuerzos en realizar un proyecto planificado que pueda ser viable económicamente para los pobladores de bajos recursos y tengan acceso a una vivienda confortable y una vida sana.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MINEM, «National Plan of Rural Electrification (PNER). 2016-2025 period. Minister of Energy and Mines.», *Repub. Del Peru*, 2015.
- [2] P. Gamio y J. Eisman, «Acceso Universal a la energía y tecnologías renovables», *Lima, Perú Consorc. Investig. Económica y Soc.*, 2016.
- [3] Senamhi & FAO, «Regionalización Estadística de Escenarios Climáticos en Perú», *Peru. Minist. del Ambient.*, vol. 1a Edición, 2014.
- [4] E. Per y C. Clim, «El Perú y el Cambio Climático Cambio Climático El Perú y el Cambio Climático Tercera Comunicación», *Perú, Minist. del Ambient.*, vol. 1a Edición, 2016.
- [5] SAYHUIITE, «Sistema Nacional Georeferenciado», *SAYHUIITE*. 2018 [En línea]. Disponible en: <http://www.sayhuite.gob.pe/sayhuite/map.phtml>.
- [6] C. E. SRL, «Diagnóstico Ambiental Regional (DAR) de Puno», Puno, 2012.
- [7] F. A. Huaylla, «Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico en una vivienda altoandina del Perú», 2010.
- [8] SENCICO, «Servicio nacional de capacitación para la Industria de la Construcción», 2018.
- [9] CARE Perú, «Confort Térmico en Viviendas Altoandinas... un enfoque integral», 2010.
- [10] K. García *et al.*, *Reglamento nacional de edificaciones*, n.º 1. 2006.
- [11] L. de Garrido, «Proceso de diseño bioclimático. Control ambiental arquitectónico», *Luis de Garrido*. 2018.
- [12] E. Ramos, D. Florián, J. Fuertes, J. Alvarado, R. Paredes, y R. Prieto, «Acondicionamiento térmico para edificaciones rurales altoandinas», *XX Simp. Peru. energía Sol.*, 2013.
- [13] R. Espinoza, «Evaluación Experimental De La Performance De Dos Componentes Bioclimáticas De Calentamiento Aplicadas En Un Módulo De Vivienda De San Francisco De Raymina-Ayacucho Con El Propósito De Validarlas Como Técnicas De Estrategias Bioclimáticas Para Viviendas R», Universidad Nacional de Ingeniería, 2014.
- [14] L. C. Aza Medina, «La totora como material de aislamiento térmico : Propiedades y potencialidades (Master`s thesis)», 2016.
- [15] EM.110, *Norma EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética*. 2014.
- [16] Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad Pontificia Bolivariana., *GUÍA 4. Guías de Construcción Sostenible*. 2015.
- [17] E. Fuentes, L. Arce, y J. Salom, «A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, 2018.
- [18] DECO, *Sistemas Solares Térmicos*, vol. Abril, n.º 378. 2016.
- [19] J. Salazar, «Análisis de viabilidad de una vivienda energéticamente autónoma en Matadepera (Barcelona)», Universidad de Barcelona, 2016.

- [20] U. V. R. Escobar, P. Gambio, A. Moreno, «Energización rural mediante el uso de energías renovables para fomentar un desarrollo integral y sostenible Propuestas para alcanzar el acceso universal a la energía en el Perú», *Coop. Alem. al Desarro. - Agencia la GIZ en el Perú*, vol. primera ed, 2016.
- [21] Meteoblue, «meteoblue weather & close to you», 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.meteoblue.com>.
- [22] M. Villarrubia, «Medida y tratamiento de los datos eólicos», en *Universidad de Barcelona*, 2018.
- [23] J. Escudero, «Manual de energía eólica: investigación, diseño, construcción y explotación de distintos tipos de instalaciones.», Bogota D.C., 2016.
- [24] PVGIS, «Photovoltaic Geographical Information System», *European Commission*, 2018. [En línea]. Disponible en: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVTR.
- [25] Senamhi, «Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú», *Peru. Minist. del Ambient.*, 2018.
- [26] S. Silvestre, «Review of System Design and Sizing Tools», *En A. McEvoy, T. Markvart, L. Castañer, Pract. Handb. Photovoltaics*, n.º Elsevier, 2012.
- [27] S. A. Andrés Serna, Edwar Marín, «Herramienta para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos aislados Tool for dimensioning of isolated photovoltaic systems», *Lámpsakos*, vol. 16, 2016.
- [28] T. M. and L. C. Augustin McEvoy, «Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications», *Elsevier*, vol. 2nd Edició, 2012.
- [29] F. Sick y T. Erge, «Photovoltaics in Buildings - A Design Handbook for Architects and Engineers», *Int. Energy Agency, Paris, Fr.*, 1996.
- [30] R. P. D. Carolyn. Ph.D., «Solar Electric System Design , Operation and Installation», *Washingt. State Univ. Ext. Energy Progr.*, n.º October, 2009.
- [31] A. Ghasemi, A. Asrari, M. Zarif, y S. Abdelwahed, «Techno-economic analysis of stand-alone hybrid photovoltaic-diesel-battery systems for rural electrification in eastern part of Iran - A step toward sustainable rural development», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 28, 2013.
- [32] OSINERGMIN, «Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería», 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/institucional/regulacion-tarifaria/pliegos-tarifarios/electricidad/pliegos-tarifarios-cliente-final>.
- [33] «CARE-Perú» 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.care.org.pe/>.
- [34] «Grupo de Apoyo al Sector Rural-PUCP».2018 [En línea]. Disponible en: <http://gruporural.pucp.edu.pe/proyecto/casa-caliente-limpia-konichuyawasi/>.
- [35] «Centro de Energía Renovables -Universidad Nacional de Ingeniería (CER-UNI)» 2018.[En línea]. Disponible en: <http://cer.uni.edu.pe/>.
- [36] «Grupo Centro Tierra-PUCP» 2018. [En línea]. Disponible en: <http://investigacion.pucp.edu.pe/grupos/ctierra/>.
- [37] «Construcción21 INTERNACIONAL» 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.construction21.org/>.

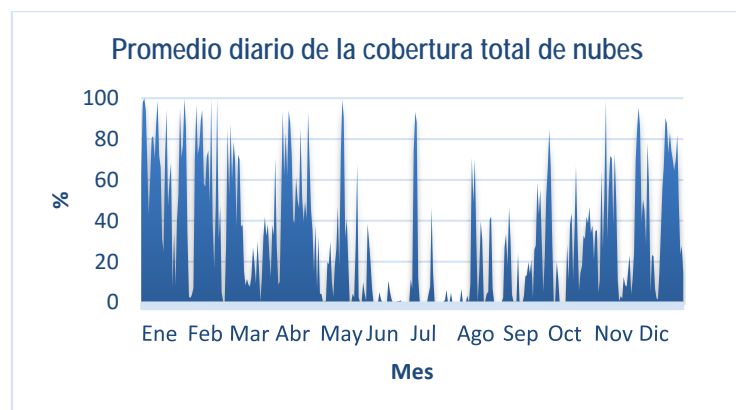
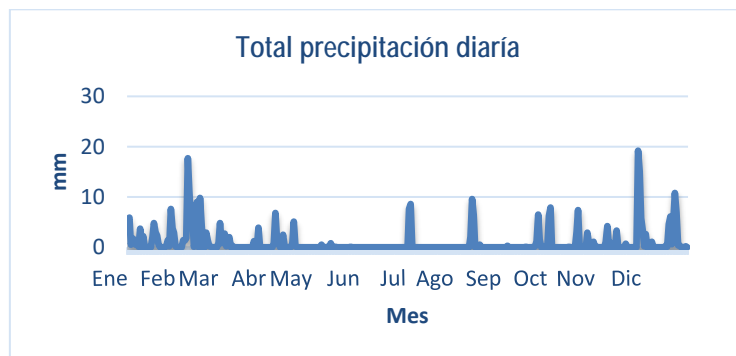
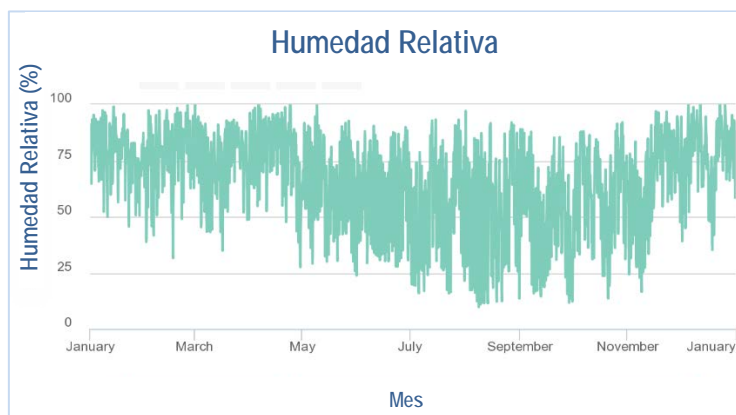
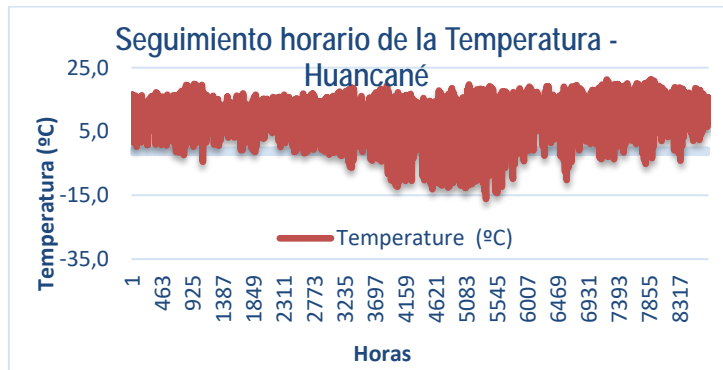
- [38] «Asociación Nacional para la Arquitectura Sostenible (ANAS)» 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.anas-sostenible.com/>.
- [39] «Luis de Garrido» 2018. [En línea]. Disponible en: <http://luisdegarrido.com/>.
- [40] M. Reynolds, *Nave Tierra*. 2011.

ANEXOS

Índice de Anexos

Anexo 1. Caracterización climatología de la zona de estudio.....	A1
Anexo 2. Propiedades térmicas de materiales de construcción.....	A2
Anexo 3. Cálculo de demanda energética de calefacción	A3
Anexo 4. Estimación de potencia y numero de colectores obtenidos.....	A4
Anexo 5. Datos técnicos del colector solar.....	A5
Anexo 6. Consumos Eléctrico por Vivienda.....	A6
Anexo 7. Velocidad de Viento medio a 80 m/s., Fuente: Atlas Eólico 2016.....	A7
Anexo 8. Estimación del potencial eólico en la zona de estudio.....	A8
Anexo 9. Datos Técnicos de Aerogeneradores.....	A9
Anexo 10. Datos de Irradiación solar.....	A10
Anexo 11. Cálculo del Dimensionamiento de módulos fotovoltaicos.....	A11
Anexo 12. Cálculo del Dimensionamiento de batería, inversor y regulador de carga.....	A12
Anexo 13. Datos del módulo fotovoltaico seleccionado.....	A13
Anexo 14. Datos de batería seleccionada.....	A14

Anexo 1. Caracterización climatología de la zona de estudio.



Anexo 2. Propiedades térmicas de materiales de construcción

Resumen de los distintos materiales empleados en la construcción de una vivienda bioclimática y en una vivienda simple sin aislamiento.

Nombre	Materiales	Propiedades de los Materiales		Transmitancia Térmica (U) [W/m ² K]	Costo (€) por m ²
		Espesor (m)	Conductividad (W/mK)		
FACHADA					
Fachada común	Adobe con placa de yeso en cara interna	0,425	0,56	1,35	6,5
Fachada mejorada	Revoque ext.con yeso	0,025	0,56	1,28	9,05
	Adobe	0,4	0,56		
	Revoque int. con totora y yeso	0,025	0,56		
FACHADA MURO TROMBE					
Fachada	Adobe	0,4	0,56	1,36	6,5
	Revoque interior	0,025	0,56		
TECHO					
Techo común	Calamina metálica	0,001	115	7,73	6,40
Techo mejorado	Aire exterior		38,84	0,4	39,8
	Calamina galvanizada	0,001	110,46		
	cámara de aire	0,2	0,33		
	madera	0,076	0,12		
	tecnopor / totora	0,051	0,048		
	triplay	0,004	0,16		
	aire interior		0,97		
MARCO DE PUERTAS Y VENTANAS					
Marco 1	Madera	0,025	0,12	2,64	-
Marco 2	Aluminio	0,02	45	5,87	-
PUERTAS					
Puerta común	Madera	0,05	0,12	3,49	25,65
Puerta mejorada	Madera	0,019	0,12	1,58	52,24
	tecnopor / totora	0,015	0,048		
	madera	0,019	0,12		
VENTANAS					
Ventana 1	Vidrio simple	0,003	1,00	7,6	8,78
Ventana con cobertura	Aire exterior		38,84	2,38	38,3
	Vidrio 60 mm	0,003	1		
	cámara de aire	0,025	0,33		
	Vidrio 60 mm	0,003	1		
	aire interior		0,97		
	Madera Interna	0,025	0,12		
PISOS					
Piso Común	Tierra Común	-	1,28	4,84	-
Piso Aislado	Mechihembrada de madera	0,019	0,24	0,77	18,80
	cámara de aire	0,025	0,33		
	Ternopor	0,051	0,048		
	cámara de aire	0,025	0,33		
CLARABOYAS					
Claraboya	Policarbonato ondulado	0,0175	0,126	3,24	14,0
Claraboya con cobertura	Policarbonato ondulado	0,0175	0,126	1,84	50,1
	Aire Estanco	Rt = 0,18 m ² K/W			
	Cobertura de madera	0,01	0,12		
TOTAL COSTO DE INVERSIÓN POR M² PARA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA					213,85

Anexo 3. Cálculo de demanda energética de calefacción y A.C.S.

DEMANDA DE ENERGÍA TÉRMICA PARA CALEFACCIÓN

CÁLCULO DE AREAS DE LOS AMBIENTES

Ambiente	Largo	Ancho	Area m ²
Área de pared de adobe	51,1		51,1
Área de pared de adobe interno	0		0
Área de pared invernadero solar			
Pared invernadero solar (tipo fitotoldo)	4,5	1,74	7,83
Ventanas	1,8		1,80
Puertas	1,6		1,60
Área de piso			36,00
Dormitorio -padres	4	2,25	9,00
Dormitorio - hijos	4	2,25	9,00
Cocina -comedor	4	4,5	18,00
Área de piso patio solar	4,5	2,8	12,60
Área de techo	10	6	60,00
Área de techo invernadero solar			
Invernadero solar tipo fitotoldo	4,5	2,8	12,60

CÁLCULO DE LOS VOLUMENES DE LOS AMBIENTES

Ambiente	Area	Alto	Volumen m ³
Volumen de vivienda completa			90,00
Dormitorio -padres	9,00	2,5	22,50
Dormitorio - hijos	9,00	2,5	22,50
Cocina - comedor	18,00	2,5	45,00
Volumen de patio solar			
Invernadero solar (tipo Fitotoldo)	7,83	1,74	13,62

$$Q_{TCE} = Q_{Perdido} - Q_{Ganado}$$

$$Q_{CTE} = Q_{Pt} + Q_{Pi} - Q_G - Q_{Gt} - Q_{Gi} - Q_{AI}$$

Cálculos de pérdidas de cargas

$$1) \quad Q_{Pt} = K * A * (T_{int} - T_{ext})$$

Donde:

- Q_{Pt} es el calor perdido por transmisión en Kcal/h
- K es el coeficiente de transmisión (Kcal/m².h.°C)
- A es la superficie del cerramiento en contacto con el exterior (m²)
- T_{int} es la temperatura interior de la vivienda en invierno
- T_{ext} es la temperatura del ambiente exterior en invierno

Envolvente	Área (m ²)	K (Kcal/m ² .h.°C)
Techo	60,00	0,35
Pared de adobe	51,1	1,10
Piso	36,00	0,66
Ventana	1,80	2,04
Puerta	1,60	1,36
PERDIDAS POR TRANSMISIÓN		
MES	Kcal/h.mes	KWh/mes
Ene	705087,08	819,9
Feb	597566,78	694,8
Mar	715938,28	832,5
Abr	704573,10	819,3
May	785369,55	913,2
Jun	995942,14	1158,1
Jul	1134899,57	1319,7
Ago	968870,65	1126,6
Sep	685209,21	796,8
Oct	701463,61	815,7
Nov	557014,46	647,7
Dic	591709,30	688,0

$$2) \quad Q_{Pi} = V * (c/h) * U * (T_{int} - T_{ext})$$

Donde:

- Q_{Pi} es el calor perdido por infiltración en Kcal/h
- V es el volumen del aire del edificio renovado cada hora (90 m³)
- c/h son los cambios cada hora, depende de lados de cobertura (2.0)
- U constante 0.29
- T_{int} es la temperatura interior de la vivienda en invierno (18°C)
- T_{ext} es la temperatura del ambiente exterior en invierno

PERDIDAS POR INFILTRACIÓN		
MES	Kcal/h.mes	KWh/mes
Ene	345153,71	401,3
Feb	292520,45	340,1
Mar	350465,58	407,5
Abr	344902,10	401,0
May	384453,52	447,0
Jun	487532,86	566,9
Jul	555555,20	646,0
Ago	474280,85	551,5
Sep	335423,11	390,0
Oct	343379,95	399,3
Nov	272669,31	317,1
Dic	289653,10	336,8

Cálculo de las ganancias de calor o contribuciones

Aporte Directo

$$3) \quad Q_G = A * \text{Radiación Solar} * \% \text{ de Transmisidad}$$

Donde

- G es la ganancia de calor por exposición a radiación solar en Kcal/h
- A es el área de ventana con asolamientos en m²

MES	Área de ventana con asolamiento	Radiación solar (KWh/m ² . mes)	%Transmitidas	Ganancia por aportes directos (KWh/mes)
Ene	1,8	186,68	0,85	285,62
Feb	1,8	175,36	0,85	268,30
Mar	1,8	152,47	0,85	233,28
Abr	1,8	172,92	0,85	264,57
May	0,9	163,09	0,85	124,76
Jun	0,9	163,31	0,85	124,93
Jul	0,9	178,05	0,85	136,21
Ago	0,9	195,76	0,85	149,76
Sep	0,9	189,57	0,85	145,02
Oct	1,8	226,74	0,85	346,91
Nov	1,8	221,70	0,85	339,20
Dic	1,8	193,28	0,85	295,71

Aporte Indirectos

$$4) \quad Q_{Gt} = A * K * (T_{int} - T_{ext})$$

Donde:

- Q_{Gt} es la ganancia de calor por transmisión en Kcal/h (muro trombe)
- A es el área del colector o elemento almacenado de calor en m²
- K es el coeficiente de transmisión en Kcal/m².h.°C.
- T_{int} es la temperatura interior de la vivienda en invierno (18°C)
- T_{ext} es la temperatura del ambiente exterior en invierno

Envolvente	Área	K (Kcal/m ² .h.°C)
Pared invernadero solar	7,83	1,225
Piso del invernadero solar	12,60	2,041
Techo del invernadero solar	12,60	0,152

MES	Ganancia (Kcal/h.mes)	KWh/mes
Ene	246127,32	286,19
Feb	208594,82	242,55
Mar	249915,19	290,60
Abr	245947,91	285,99
May	274151,82	318,78
Jun	347657,16	404,25
Jul	396163,54	460,66
Ago	338207,22	393,26
Sep	239188,48	278,13
Oct	244862,47	284,72
Nov	194439,07	226,09
Dic	206550,13	240,17

$$5) \quad Q_{Gi} = (0.29 \text{ Kcal/m}^3/\text{°C}) * V * (R/h) * (T_{int} - T_{ext})$$

Donde

- Q_{Gi} es la ganancia de calor por infiltración en Kcal/h (ventilación)
- 0.29 Constante en Kcal/m³/°C
- R/h Renovación por hora (2)
- T_{int} es la temperatura interior de la vivienda en invierno (18°C)
- T_{ext} es la temperatura del ambiente exterior en invierno (-16.1°C)

MES	Kcal/h.mes	KWh/mes
Ene	52249,4	60,8
Feb	44281,7	51,5
Mar	53053,5	61,7
Abr	52211,3	60,7
May	58198,6	67,7
Jun	73802,7	85,8
Jul	84099,9	97,8
Ago	71796,6	83,5
Sep	50776,3	59,0
Oct	51980,9	60,4
Nov	41276,7	48,0
Dic	43847,7	51,0

$$6) \quad Q_{AI} = (0.86 \text{ Kcal/h}) * E * C$$

Donde

- Q_{AI} es la ganancia de calor por aportaciones independientes en Kcal/h
- 0.86 constata de conversión en Kcal/h
- E es la energía en vatios
- C es la cantidad de artefactos u ocupantes en la vivienda

	Cant	E	Coefficiente	Ganancia	KW
Artefactos eléctricos radio y televisor	2	130	0,86	223,6	0,26
Aparatos eléctricos focos de 11 W	5	11	0,86	47,3	0,055
Ocupantes	5	70,7	0,86	304,01	0,3535
TOTAL				574,91	0,6685

RESUMEN DEMANDA TÉRMICA EN:

Vivienda Aislada

Mes	GANANCIA (KWh/mes)	PERDIDAS (KWh/mes)	Demanda Térmica (Kwh/mes)	% demanda cubierta
Ene	1014,78	1221,21	206,4	83%
Feb	922,86	1034,99	112,1	89%
Mar	986,63	1240,00	253,4	80%
Abr	1033,38	1220,32	186,9	85%
May	984,07	1360,26	376,2	72%
Jun	1086,87	1724,97	638,1	63%
Jul	1188,20	1965,65	777,4	60%
Ago	1116,44	1678,08	561,6	67%
Sep	938,51	1186,78	248,3	79%
Oct	1145,87	1214,93	69,1	94%
Nov	1016,16	964,75	0	105%
Dic	965,39	1024,84	59,4	94%
TOTAL	12399,17	15836,78	3489,02	81%

Vivienda sin Aislamiento

Mes	GANANCIA (KWh/mes)	PERDIDAS (KWh/mes)	Demanda Térmica (Kwh/mes)	% demanda cubierta
Ene	667,83	5205,13	4537	13%
Feb	628,82	4411,39	3783	14%
Mar	634,34	5285,24	4651	12%
Abr	686,69	5201,34	4515	13%
May	697,87	5797,80	5100	12%
Jun	712,28	7352,30	6640	10%
Jul	762,14	8378,12	7616	9%
Ago	782,02	7152,45	6370	11%
Sep	721,36	5058,39	4337	14%
Oct	800,71	5178,38	4378	15%
Nov	742,07	4112,02	3370	18%
Dic	674,23	4368,15	3694	15%
TOTAL	8510.36	67500.72	58990.35	13%

El día con más baja temperatura del año

Mes: Agosto

Temperatura exterior: -16.1 °C

Horas	Temperatura exterior (°C)	Demanda Térmica (KW)	
		V. AISLADA Carga térmica (KW)	V. SIN AISLAR Carga Térmica (KW)
0	-5,0	2,37	17,44
1	-8,0	2,77	19,78
2	-11,1	3,17	22,21
3	-13,3	3,47	23,97
4	-14,6	3,65	25,03
5	-15,4	3,75	25,64
6	-16,1	3,85	26,21
7	-6,9	2,54	18,79
8	3,5	0,97	10,17
9	9,6	0,00	5,05
10	13,1	0	2,04
11	15,2	0	0,26
12	16,5	0	0
13	17,3	0	0
14	17,7	0	0
15	17,5	0	0
16	16,5	0	0
17	12,8	0	3,07
18	8,7	0,55	6,63
19	3,8	1,21	10,50
20	0,1	1,70	13,46
21	1,5	1,52	12,34
22	4,2	1,15	10,18
23	4,3	1,14	10,12
TOTAL		33,82	262,89

kWh/día

DEMANDA DE ENERGÍA TÉRMICA PARA ACS

Numero de persona en la vivienda: 4

Consumo de ACS por persona en vivienda a 60°C: 30 l/día (Fuente: CTE-CSCAE)

Consumo total: 30*4 = 120 litros/día

Demanda anual de ACS: 120l /d * 365 días = 43 800 litros

Cálculo de la demanda de ACS

Demanda a la temperatura elegida (45°C)

$$D(T) = \sum_1^{12} D_i(T)$$

$$D_i(T) = D_i(60^\circ C) \times \left(\frac{60 - T_i}{T - T_i} \right)$$

donde:

D(T) = demanda de ACS a la temperatura T

D_i(T) = demanda de ACS para el mes "i" a la temperatura T

D_i(60°C) = demanda de ACS para el mes "i" a la temperatura de 60°C

T = temperatura del acumulador final.

T_i = Temperatura media del AFS en el mes "i".

Mes	Demanda diaria (l/d)	Personas	Demanda Mensual Di (l/d)	nº días mes	TOTAL (litros)
Ene	42,37	4	169,5	31	5254
Feb	42,34	4	169,3	28	4742
Mar	42,36	4	169,4	31	5252
Abr	42,23	4	168,9	30	5067
May	41,77	4	167,1	31	5179
Jun	40,95	4	163,8	30	4914
Jul	40,72	4	162,9	31	5049
Ago	40,47	4	161,9	31	5019
Sep	41,38	4	165,5	30	4965
Oct	41,57	4	166,3	31	5155
Nov	42,47	4	169,9	30	5096
Dic	42,21	4	168,8	31	5234
				DT =	60927

Demanda de energía térmica

$$D_{ACS} = D(T) \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{uso} - T_{AF})$$

donde:

D_{ACS} = demanda de energía térmica para ACS (kW/día)

D(T) = consumo de ACS en cada mes (litros/día)

ρ = densidad del agua (1 Kg/litro)

C_p = calor específico del agua (0.00116 kW/Kg°C)

T_{uso} = temperatura de uso (°C)

T_{AF} = temperatura del agua fría (°C)

Mes	Demanda mensual (l/mes)	Temperatura Agua de red (°C)	Demanda Energética (KW/mes)
Ene	5254	8,64	221,7
Feb	4742	8,53	200,6
Mar	5252	8,58	221,9
Abr	5067	8,20	216,3
May	5179	6,77	229,7
Jun	4914	3,91	234,3
Jul	5049	3,03	245,9
Ago	5019	2,04	250,1
Sep	4965	5,45	227,8
Oct	5155	6,11	232,6
Nov	5096	8,91	213,4
Dic	5234	8,14	223,8
Demanda energética anual (kW/año)			2718,0

Anexo 4. Estimación de potencia y numero de colectores obtenidos.

PARAMETROS DE CÁLCULO

Parámetros del sistema

Tipo del sistema	:		Estático		
Ubicación del proyecto (*)	:		HUANCANE		
Orientación (*)	:		Norte		
Inclinación del colector ° (*)	:		20		
Marca del Colector	:		Termocon		
Modelo del Colector	:		AS-300DB		
Numero de Colectores	:		4		
Temperatura del proceso (°C)	:		50	323,15	°K
T_m (°C) = (T proceso +10)	:		60	333,15	°K
T. promedio del ambiente (°C)	:		4,858	278,008	°K
Capacidad calorífica del agua (J/gr.°C)	:		4,186		

Características Técnicas del colector

Peso (Kg)	76,5
Espesor de aislamiento (mm)	40
Superficie de absorción neta (m ²)	3,6
Superficie de apertura (m ²)	1,797
Plato Absorbente	Cobre
Eficiencia (n0)	0,757
Coefficiente de pérdida a1 (W/m ² K)	3,994
a2 (W/m ² k ²)	0,009
Absorbancia %	95%
Emisión %	4,7%

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

2.1. Cálculo de la Energía Solar aportada en intervalos de tiempo.

Es la irradiancia recibida en el recolector en intervalos de tiempo y se obtiene mediante la multiplicación de la irradiancia global (G) obtenida del PVGIS por el intervalo del tiempo expresado en horas (1 h).

$$G_{En-sol/s} (w.h/m^2) = G (W/m^2) * (1/4) h$$

Cálculo de la Eficiencia del recolector por cada intervalo de tiempo en un día de julio

Es la eficiencia obtenida del recolector para la generación de calor por adsorción de irradiación en intervalos de tiempo, y se obtiene mediante la siguiente Formula.

$$\eta = \frac{n_0 - a_1 (w/m^2 \cdot k) * (T_m - T_a) / G (w/m^2) - a_2 (w/m^2 \cdot k^2) * (T_m - T_a)^2 \cdot K^2 / G (w/m^2)}{1}$$

Cálculo del calor por unidad de superficie producido en cada intervalo de tiempo.

Es el calor producido por el recolector en intervalos de tiempo para un día de junio en el proceso del calentamiento del agua, y se calcula mediante la siguiente formula-

$$E_{Q/S} (W.h/m^2) = \eta * G (w.h/m^2)$$

Cálculo de la irradiancia media para un día de julio. (G)

Se calcula mediante la sumatoria de la energía recibida en los intervalos de tiempo en un día.

$$G (w.h/m^2 \text{ día}) = \sum G_{En-Sol/S}$$

Cálculo de la eficiencia media del recolector (η)

Es la eficiencia neta del recolector en un día de operación y se calcula por la siguiente formula.

$$\eta = \frac{\sum G_{En-Sol/S} (w.h/m^2)}{\sum E_{Q/S} (W.h/m^2)}$$

Cálculo del calor por unidad de superficie y tiempo producido para un día.

($Q_{día} / (St)$)

Se calcula mediante la sumatoria del calor producido por la radiación en intervalo de tiempo en un día.

$$Q_{día/St} (w.h/m^2 \cdot día) = \sum E_{Q/S}$$

Cálculo del calor producido en julio por todo el sistema ($Q_{mensual}$)

Se calcula mediante la siguiente formula.

$$Q (mensual) (GJ) = Q_{día/St} (w.h/m^2 \cdot día) * 30 \text{ días} * N^{\circ} \text{ colectores} * \text{Superficie Colect. (m}^2) * \text{factor Conversión} (0,90) * (3,6 \cdot 10^{-6})$$

Cálculo del volumen de agua que el sistema calienta en el mes de julio

Es el volumen de agua calentado por el sistema en el mes de julio hasta la temperatura de proceso 50 °C y se calcula mediante la siguiente formula:

$$V (m^3) = \frac{Q (GJ) * (10^6 \text{ J/GJ})}{(C_{cap. Calorífica} (J/gr.°C) * (T_{proceso} - T_{pro. ambiente})^{\circ}C * 1000 \text{ gr/m}^3)}$$

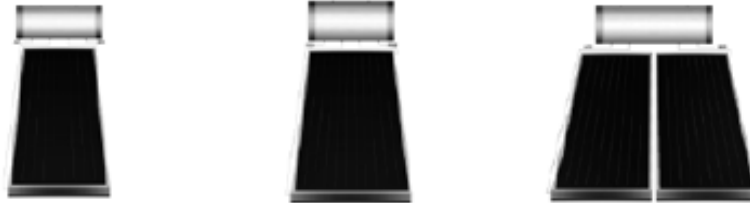
Datos PVGIS : JULIO

Datos calculados

Time	G (w/m ²)	T _d (°C)	T _d (°K)	n (%)	G Energia-sol/s (w.h/m ²)	EQ /S (W.h/m ²)
0:45	0	2,3	275,45	-	0	-
1:45	0	1,6	274,75	-	0	-
2:45	0	1	274,15	-	0	-
3:45	0	0,5	273,65	-	0	-
4:45	0	0	273,15	-	0	-
5:45	0	-0,1	273,05	-	0	-
6:45	0	-0,1	273,05	-	0	-
7:45	73	-0,2	272,95	0	73	0,00
8:45	290	2,4	275,55	0	290	0,00
9:45	486	5	278,15	24,90%	486	121,01
10:45	630	7,6	280,75	38,56%	630	242,91
11:45	716	8,4	281,55	43,57%	716	311,96
12:45	765	9,3	282,45	46,21%	765	353,47
13:45	758	10,1	283,25	46,45%	758	352,10
14:45	681	10,1	283,25	43,14%	681	293,81
15:45	550	10	283,15	35,30%	550	194,15
16:45	370	10	283,15	15,65%	370	57,89
17:45	175	8,7	281,85	0	175	0,00
18:45	13	7,4	280,55		13	-
19:45	0	6,1	279,25	-	0	-
20:45	0	5,3	278,45	-	0	-
21:45	0	4,5	277,65	-	0	-
22:45	0	3,7	276,85	-	0	-
23:45	0	3	276,15	-	0	-
		T. promedio del ambiente (°C)	T. promedio del ambiente (°K)		∑ G En-Sol/S (w.h/m ² .día)	∑ EQ/S (w.h/m ² .día)
		4,858	278,008		5507,00	1927,29
G (w.h/m ² .day)	η	Q _{day} /(s.t) (w.h/m ² .day)	Q _{month} (KWh/mes)	V _{month} (m ³)		
229,46	35,00%	1927,29	774,31	2,88		

- G: Irradiancia global sobre un plano fijo (W/m²)
- T_d: Perfil de la temperatura media diurna (°C)
- G (w.h/m².día), es la irradiancia media en el plano de los colectores para un día de julio.
- η es la eficiencia media del recolector.
- Q_{día} / (St), es el calor por unidad de superficie y tiempo producido por los colectores para un día de julio.
- Q_{mensual}, es el calor producido en julio por todo el sistema
- V_{mensual}, es el volumen de agua que el sistema calienta en el mes de julio.

Anexo 5. Datos técnicos del colector solar.

COLECTORES SOLARES Termocan
CATÁLOGO DE PRODUCTOS 2011
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS


Modelo	AS-150H	AS-200H	AS-300H
ACUMULADOR SOLAR			
Volumen	145 litros	192 litros	280 litros
Fabricación	Acero USD 37.2 de 2.5 mm de espesor con doble vitrificado (DIN 4753) a 840°C		
Intercambiador	Dobleenvolvente en acero USD 37,2 de 1,5 mm de espesor con cámara de exp.		
Área de intercambio	0,98 m ²	1,16 m ²	1,57 m ²
Volumen de fluido	9,52	11,38 l	15,38 l
Aislamiento	Poliuretano rígido de 50 mm de espesor y densidad 40 kg/m ³		
Acabado exterior	Lamina de acero tratada y acabada en RAL 9006		
Peso en vacío	67 Kg	85 Kg	107 Kg
Dimensiones	ø 500 x 1300 mm	ø 580 x 1300 mm	ø 580 x 1800 mm
Certificación	ISO 9001:2000	INTA	CSTB TÜV
CAPTACIÓN SOLAR			
Captador modelo	Termocan 1.8 A (1ud.)	Termocan 2.0 A (1ud.)	Termocan 1.8 A (2uds.)
Área útil	1,77 m ²	2,00 m ²	3,54 m ²
Fabricado	Selectivo BLUETEC, carcasa de aluminio AL 6063 T5 y aislado 50 mm lana mineral		
Rendimiento óptico	75,70%	75,70%	75,70%
F. pérdidas 1º	3,994 W/m ² K	3,994 W/m ² K	3,994 W/m ² K
F. pérdidas 2º	0,009 W/m ² K	0,009 W/m ² K	0,009 W/m ² K
Peso en vacío	35,5 Kg	40 Kg	71 Kg
Volumen de fluido	1,40	1,50	2,80
Certificación	KEYMARK Nº 011-75508F		
ESTRUCTURA	Fabricada en aluminio anodizado en versión plana o inclinada. NB-AE/88 (10,00 Kg)		
KIT SOLAR			
Voumen fluido 1º	12,40 L	14,40 L	19,50 L
Presiones	Trabajo: 10,0 bar	Prueba: 13,0 bar	Descarga: 2,5 bar
Relación V/A	81,9 /m ²	96 l/m ²	79,1 l/m ²
Peso en vacío	130 Kg	155 Kg	204 Kg
Peso en servicio	285 Kg	359 Kg	500 Kg
Certificación	011-751423A		

COLECTORES SOLARES **Termocan**

KITS TERMOSIFÓNICOS

Los kits termosifónicos TERMOCAN son la mejor opción para viviendas localizadas en climas templados y cálidos. Su elevada producción de agua caliente se debe a la alta calidad, eficiencia y fiabilidad de los diferentes elementos que lo integran.

El caudal circulante a través del circuito cerrado, se produce por flujo natural debido a un gradiente térmico entre láminas frías y calientes dentro del propio circuito. La dilatación del fluido caloportador por incremento de temperatura es absorbida totalmente por una cámara de expansión en el doble envoltente del interacumulador.

No consumen energía y son completamente autosuficientes.

Este kit incorpora todos los elementos necesarios para su interconexión, garantizando un correcto funcionamiento y una vida útil prolongada con un elevado rendimiento.



Su instalación es rápida, sencilla, y no tiene mantenimiento.

El kit termosifónico incluye:

- Interacumulador solar horizontal de 150, 200 ó 300 litros
- Captador solar Termocan 1.8 A ó Termocan 2.0 A
- Estructura de aluminio anodizado para cubierta plana o inclinada
- Kit de piezas para su montaje
- Fluido solar anticongelante.
- Mangueras flexibles de acero inoxidable aislado.



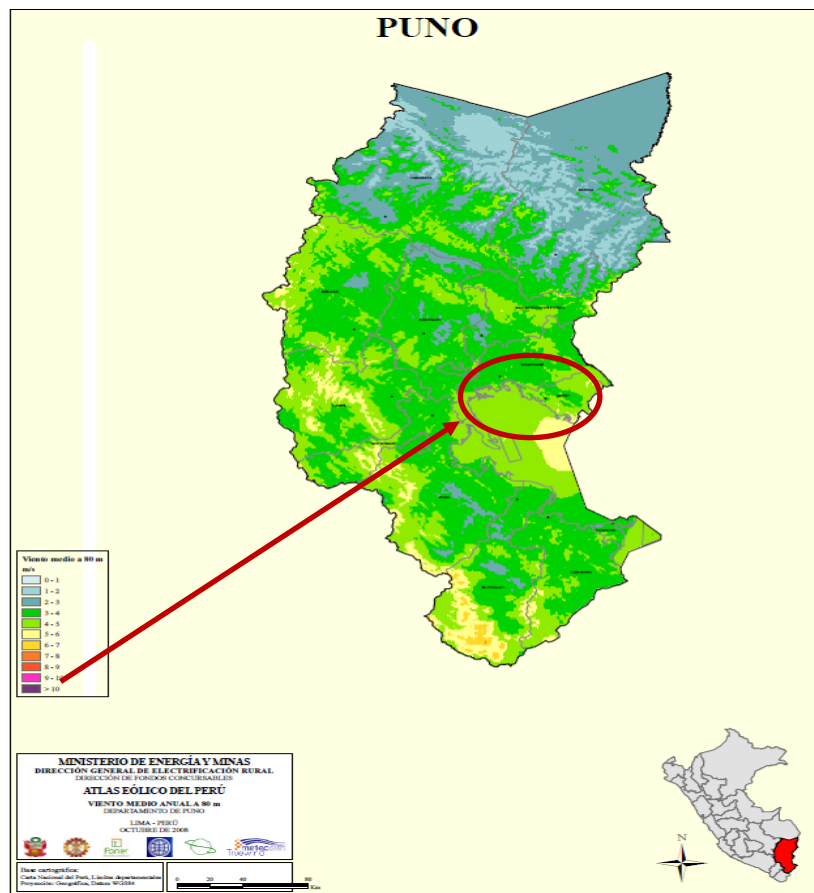
Referencia	Artículo
AS - 150 H	Equipo termosifónico 150 litros, captador Termocan 1.8 A
AS - 200 H	Equipo termosifónico 200 litros, captador Termocan 2.0 A
AS - 300 H	Equipo termosifónico 300 litros, 2 captadores Termocan 1.8 A

Anexo 6. Consumos Eléctrico por Vivienda

Estimación de los consumos de la vivienda, basado en la frecuencia de consumo y potencia de cada equipo instalado.

zona	Equipo	Cant.	Uso	Potencia (KW)	Horas/ día aprox	Días / semana	Consumo Día KWh / día	Consumo / Zona* día KWh/día
CONSUMOS COTIDIANOS								
Iluminación	Fluorescentes compactos	5	Frecuente	0,011	7	7	0,39	0,39
Sala	Televisor 24"	1	Frecuente	0,13	5	7	0,65	0,65
	Radio	1	Puntual	0,13	3	7	0,39	0,39
Habitaciones	Cargador Movil	1	Frecuente	0,01	2	7	0,02	0,02
Baño	Terma	1	Frecuente	3,2	0,5	7	1,60	1,60
SUB TOTAL				3,481			3,481	3,65
CONSUMO PUNTUALES								
B.A. y Accesorios S.T.S		1	puntual (KWh/día)	1,2		7	1,00	1,010
TOTAL				4,481				4,05

Anexo 7. Velocidad de Viento medio a 80 m/s., Fuente: Atlas Eólico 2016.



Anexo 8. Estimación del potencial eólico en la zona de estudio

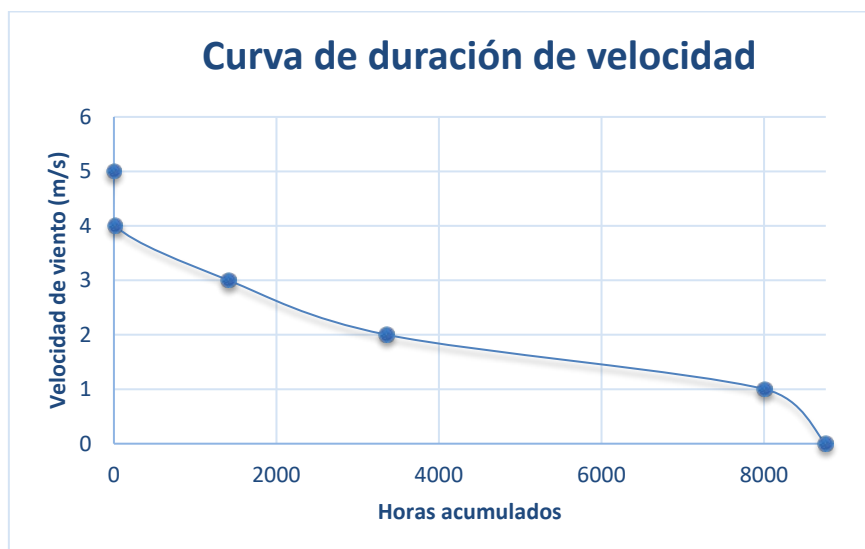
PARAMETROS DE UBICACIÓN Y DE WEIBULL SEGÚN ATLAS EÓLICO DEL PERÚ			
Ubicación	Huancané - Puno		
Localización	-15,2042 sur -69,7614 oeste	Altitud (msnm)	3853
Factor de forma K	2,70	Altura medición (m)	10
Factor de escala C (m/s)	2,10	Rugosidad (m) - Clase 2	0,1

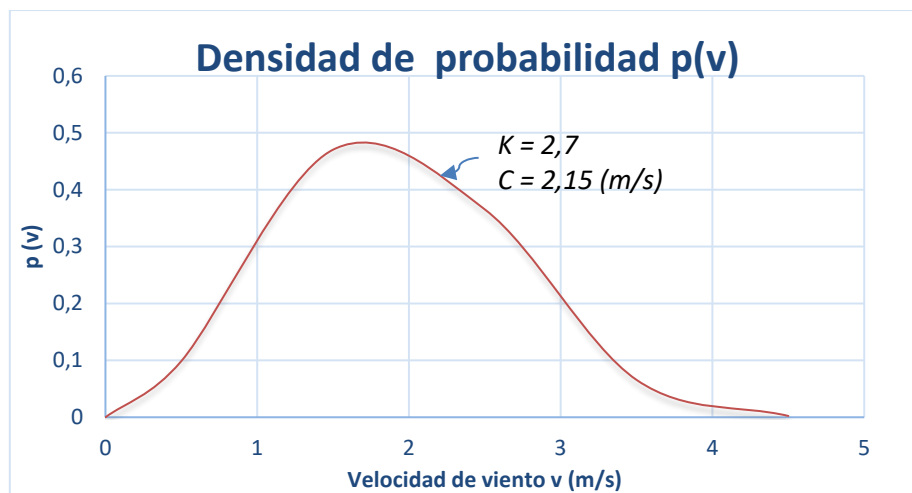
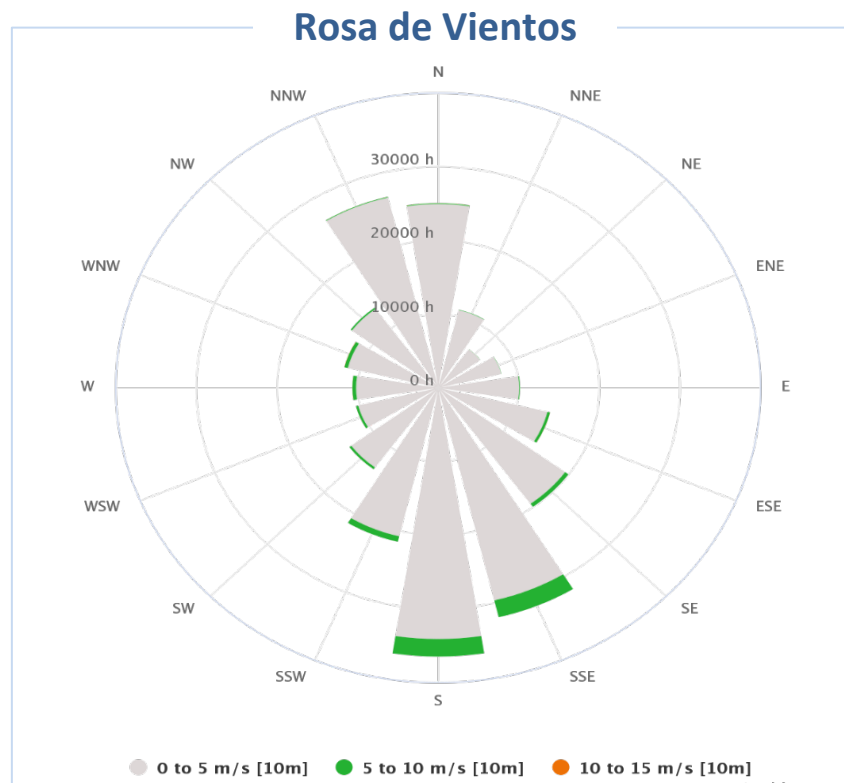
Escalamiento a $Z' = 13$ metros de altura (Turbina + Torre)

$k' = k \frac{\left(1 - 0.088 \ln\left(\frac{z}{10}\right)\right)}{\left(1 - 0.088 \ln\left(\frac{z'}{10}\right)\right)}$	$c' = c \left(\frac{z'}{z}\right)^\beta$	$\beta = \frac{0.37 - 0.088 \ln c}{1 - 0.088 \ln\left(\frac{z}{10}\right)}$	$\frac{\langle v \rangle}{c} = \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$
beta	C'	K'	Velocidad Media Anual (V)
0,305	2,27 m/s	2,76	2,02 m/s

Caracterización del Recurso Eólico

Distribución de la densidad de probabilidad de Weibull	$p(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$
Frecuencias acumuladas de la velocidad	$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$





Producción eléctrica anual estimado con el uso de aerogeneradores tipo VAWT

AEOLOS - V 300W	n	360	RPM	AEOLOS - V 300W	n	360	RPM
	Radio	0,6	m		Radio	0,8	m
	Rate Velocity	10	m/s		Rate Velocity	10	m/s
	Altura	1,6	m		Altura	1,8	m
	Ancho	1,2	m		Ancho	1,6	m
	λ	2,26	m/s		λ	3,02	m/s
	Cp	0,28			Cp	0,45	
	Potencia	300	W		Potencia	600	W
	Potencia Max.	400	W		Potencia Max.	800	W

Intervalo	v' (m/s)	p(v)	AEOLOS - V 300V			AEOLOS - V 600V		
			Pi (W)	pi*Pi*Δv (KW)	E.Prod. (KWh)	Pi (W)	pi*Pi*Δv (KW)	E.Prod. (KWh)
0 - 1	0,5	0,099	0	0,0000	0,00	0	0,0000	0,00
1 - 2	1,5	0,470	0	0,0000	0,00	0	0,0000	0,00
2 - 3	2,5	0,365	0	0,0000	0,00	0	0,0000	0,00
3 - 4	3,5	0,066	18	0,0012	10,35	37	0,0024	21,28
4 - 5	4,5	0,002	32	0,0001	0,64	66	0,0002	1,32
5 - 6	5,5	0,000	56	0,0000	0,00	117	0,0000	0,00
6 - 7	6,5	0,000	93	0,0000	0,00	195	0,0000	0,00
7 - 8	7,5	0,000	143	0,0000	0,00	298	0,0000	0,00
8 - 9	8,5	0,000	203	0,0000	0,00	416	0,0000	0,00
9 - 10	9,5	0,000	269	0,0000	0,00	540	0,0000	0,00
10 - 11	10,5	0,000	334	0,0000	0,00	658	0,0000	0,00
11 - 12	11,5	0,000	395	0,0000	0,00	764	0,0000	0,00
12 - 13	12,5	0,000	400	0	0,004	800		0,008
13 - 14	13,5	0,000	400			800		
14 - 15	14,5	0,000	400			800		
TOTAL		1,00		0,001 kW	11,00 kWh/año		0,003 KW	22,61 kWh/año

Anexo 9. Datos Técnicos de Aerogeneradores

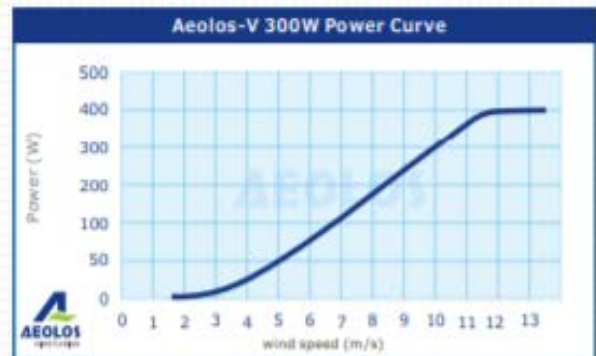
Aerogenerador Aeolos V – 300W

V 300W Specification

Generator Type:	Three Phase Permanent Magnet
Rotor Height:	1.6 m (5.25 ft)
Rotor Width:	1.2 m (3.94 ft)
Blades Material:	Aluminum Alloy
Safety Control:	Electronic Dump Loading Blades Rotation Limitation 360 rpm

Performance

Rated Power:	300 W
Max Output Power:	400 W
Cut In Wind Speed:	1.5 m/s (3.35 mph)
Rated Wind Speed:	10 m/s (22.3 mph)
Survival Wind Speed:	50 m/s (111.5 mph)
Noise Level:	< 45 dB(A)



Aeolos-V 300W Wind Turbine Annual Energy Output			
Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)	Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)
3 m/s	88 kWh	8 m/s	1576 kWh
4 m/s	227 kWh	9 m/s	2102 kWh
5 m/s	438 kWh	10 m/s	2628 kWh
6 m/s	683 kWh	11 m/s	3241 kWh
7 m/s	919 kWh	12 m/s	3504 kWh

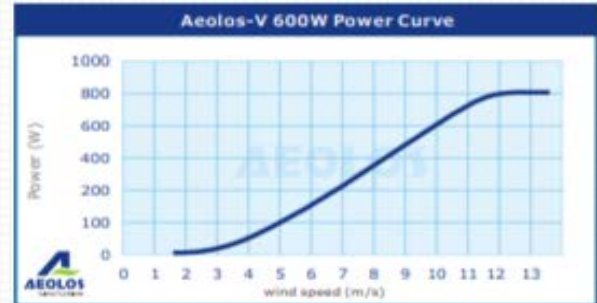
Aerogenerador Aeolos V – 300W

V 600W Specification

Generator Type:	Three Phase Permanent Magnet
Rotor Height:	1.8 m (5.91 ft)
Rotor Width:	1.6 m (5.25 ft)
Blade Material:	Aluminum Alloy
Safety Control:	Electronic Dump Loading Blades Rotation Limitation 360 rpm

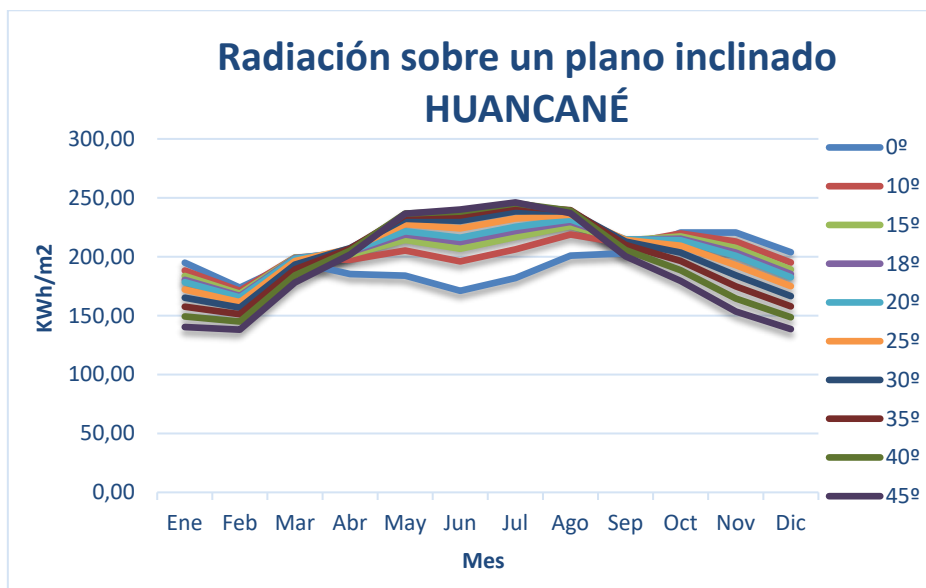
Performance

Rated Power:	600 W
Max Output Power:	800 W
Cut In Wind Speed:	1.5 m/s (3.35 mph)
Rated Wind Speed:	10 m/s (22.3 mph)
Survival Wind Speed:	50 m/s (111.5 mph)
Noise Level:	< 45 dB(A)



Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)	Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)
3 m/s	131 kWh	8 m/s	3328 kWh
4 m/s	481 kWh	9 m/s	4292 kWh
5 m/s	876 kWh	10 m/s	5256 kWh
6 m/s	1401 kWh	11 m/s	6394 kWh
7 m/s	1752 kWh	12 m/s	7008 kWh

Anexo 10. Datos de Irradiación solar



Datos del comportamiento de la radiación solar incidente estimados para diferentes ángulos de inclinación, obtenidos del PVGIS.

Anexo 11. Cálculo del Dimensionamiento de módulos fotovoltaicos

Demanda Diaria $E_L := 4.05 \text{ kw.hr}$

Irradiación $H := 5.91 \frac{\text{Kw.hr}}{\text{m}^2}$ *Irradiancia* $G_0 := 1.000. \frac{\text{k.w}}{\text{m}^2}$

HSP (YIELD) $HSP := \frac{H}{G_0} = 5.91 \text{ hr}$

Factores de Perdida *Rendimiento Conductores* $n_{con.} := 0.98$

Rendimiento Inversor $n_{inv.} := 0.95$

$$n_{bo} := n_{cond.} \cdot n_{inv.} = 0.931$$

Módulos PV *Rendimiento temperatura:* $PRT := 0.97$

Rendimiento espectral $PRS := 0.98$

Rendimiento suciedad $PRD := 0.97$

Rendimiento efecto Joule $PRJ := 0.99$

Rendimiento manufactura $PRI := 0.95$

Performance Ratio $PR = PRT \cdot PRS \cdot PRD \cdot PRJ \cdot PRI = 0.87$

Potencia de la instalación fotovoltaica

$$P_{PV.ARRAY} = \frac{E_L}{n_{bo} * PR * HSP}$$

$$P_{PV.ARRAY} = 0.85 \text{ kW}$$

Datos del módulo: TERMICOL A240P GSE

$P_{MOD} = 240 \text{ W}$

$V_{MPP} = 30.88 \text{ V}$

$I_{MPP} = 7.80 \text{ A}$

$n_{mod} = 0.1473$

$I_{SC} = 8.21 \text{ A}$

*Seguimiento MPPT

$$n_{ARRAY} = n_{bo} * PR * n_{mod} = 0.1180$$

$V_{SIST} = 48 \text{ V}$

Módulos Conexión en SERIE: $N_{MS} = \text{Ceil} \left(\frac{V_{SIST}}{V_{MPP}} \right) = 2 \text{ módulos PV}$

Módulos Conexión en PARALELO: $N_{MP} = \text{Ceil} \left(\frac{P_{PV.ARRAY}}{N_{MS} * P_{MOD}} \right) = 2 \text{ módulos PV}$

Numero total de módulos: $N_{TOTAL.MOD} = 4 \text{ módulos PV}$

Anexo 12. Cálculo del Dimensionamiento de batería y regulador de carga

BATERÍAS

Días de Autonomía:	$N_D = 2 \text{ días}$
Rendimiento Batería:	$n_{bat} = 0.85$
Descarga máxima estacional	$DOD_{MAX.EST} = 0.80$
Descarga máxima diaria	$DOD_{MAX.DIA} = 0.10$

Capacidad de Almacenamiento Estacional

$$C_{S.E} = \frac{N_D * E_L}{DOD_{MAX.EST} * V_{SIST} * n_{bo} * n_{bat}} = 266.23 \text{ A. hr}$$

Capacidad de Almacenamiento Diaria

$$C_{S.D} = \frac{E_L}{DOD_{MAX.DIA} * V_{SIST} * n_{bo} * n_{bat}} = 1064.9 \text{ A. hr}$$

Para el dimensionado se utiliza el factor más crítico, la capacidad de almacenamiento estacional

Batería a Considerar: ROLLS 48V 480 A.h/C100 375 Ah/C20 (Anexo 14)

$$C_{BAT} = 375 \text{ A. hr} \quad V_{BAT} = 48V$$

Batería Conexión en SERIE: $N_{BS} = \text{Ceil} \left(\frac{V_{SIST}}{V_{BAT}} \right) = 1 \text{ Batería}$

Batería Conexión en PARALELO: $N_{BP} = \text{Ceil} \left(\frac{C_{S.E}}{C_{BAT}} \right) = 3 \text{ Batería}$

Numero total de baterías: $N_{B.TOTAL} = N_{B.S} * N_{B.P} = 3 \text{ Baterías}$

REGULADOR DE CARGA

Intensidad de Entrada al Regulador: $I_{R.E} = 1.25 * I_{SC} * N_{MP} = 20.52 \text{ A}$

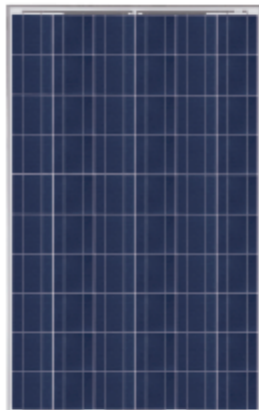
Potencia a considerar: $P_{SIMULTANEA} = 3 \text{ kW}$

Intensidad de Salida al Regulador $I_{R.S} = \frac{P_{SIMULTANEA}}{n_{inv} * V_{BAT}} = 54.82 \text{ A}$

Anexo 13. Datos del módulo fotovoltaico seleccionado

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

MODULO A240P GSE



Características eléctricas

Potencia Máxima (P _{max})	240 W
Tensión Máxima Potencia (V _{MPP})	30.88 V
Corriente Máxima Potencia (I _{MPP})	7.80 A
Tensión de Circuito Abierto (V _{OC})	37.76 V
Corriente en Cortocircuito (I _{SC})	8.21 A
Eficiencia de Módulo (%)	14.73
Tolerancia de Potencia (W)	0/+5
Máxima Serie de Fusibles (A)	15
Máxima Tensión del Sistema	DC 1000 V (IEC) / DC 600 V (UL)
Temperatura de Funcionamiento normal de la célula (°C) (T _{ONC})	46 ± 3

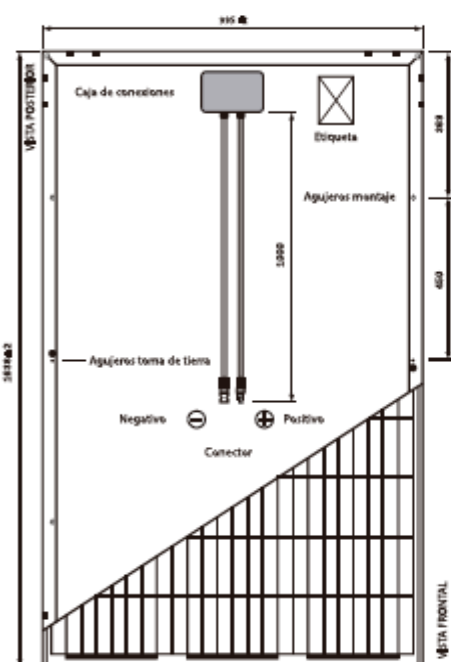
Especificaciones mecánicas

Dimensiones	1638x995 x40mm
Peso	18.7 kg
Máx carga estática, frontal (nieve y viento)	5400 Pa
Máx carga estática, posterior (viento)	2400 Pa

Materiales de construcción

Cubierta frontal (material/tipo/espesor)	Cristal templado/grado PV/3.2 mm
Células (Cantidad/tipo/dimensiones)	60 células (6x10)/ Policristalina/156x156 mm
Marco (material/color)	Aleación de aluminio anodizado/plata
Caja de conexiones (grado de protección)	IP65
Cable (longitud/sección) / Conector	1000 mm / 4 mm ² /Compatible MC4

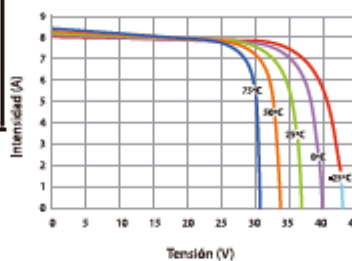
Vista genérica construcción módulo



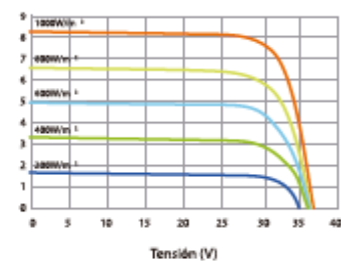
Características de temperatura

Coef. Temp. de I _{sc} (TK I _{sc})	0,07% / °C	Embalaje	Módulo / palé	26 pzas
Coef. Temp. de I _{sc} (TK I _{sc})	-0,33% / °C		Palés / contenedor 40'	28 pzas
Coef. Temp. de I _{sc} (TK I _{sc})	-0,43% / °C		Módulo / contenedor 40'	28 pzas
Temperatura de Funcionamiento	-40 a +85 °C			

Variación curva I-V con la temperatura



Variación curva I-V con la irradiancia



Descripción	Referencia
Módulo A 240 P GSE 60 Células	PVMOD-01

Anexo 14. Datos de batería seleccionada

S-480

6 VOLTS



CONTAINER:	High Density Polypropylene
COVER:	High Density Polypropylene
TERMINALS:	Flag M
HANDLES:	Rope

WEIGHT DRY:	37 kg	81 Lbs.
WEIGHT WET:	51 kg	113 Lbs.
LENGTH:	318 mm	12 1/2 Inches
WIDTH:	181 mm	7 1/8 Inches
HEIGHT:	425 mm	16 3/4 Inches

PLATE HEIGHT:	293 mm	11.550 Inches
PLATE WIDTH:	143 mm	5.625 Inches
THICKNESS (POSITIVE):	4.32 mm	0.170 Inches
THICKNESS (NEGATIVE):	3.05 mm	0.120 Inches



SAI GLOBAL
ISO 9001
Quality

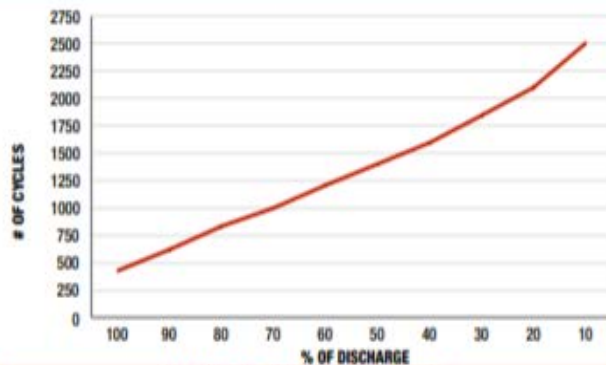
CELLS:	15 Plates/Cell	3 Cell
SEPARATOR THICKNESS:	2 mm	0.061 Inches
GLASS MAT INSULATION:	1 mm	0.02 Inches
ELECTROLYTE RESERVE: ABOVE PLATES	57 mm	2.25 Inches

COLD CRANK AMPS (CCA):	0°F / -17.8°C	1151
MARINE CRANK AMPS (MCA):	32°F / 0°C	1440
RESERVE CAPACITY (RC @ 25A):		814 Minutes

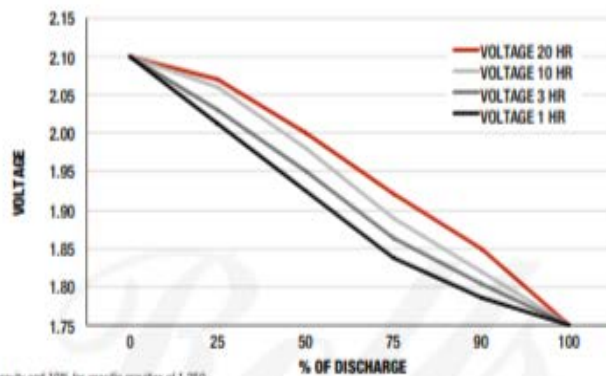
CAPACITY 375 AH

HOUR RATE:	SPECIFIC GRAVITY	CAPACITY / AMP HOUR	CURRENT / AMPS
@ 100 HOUR RATE	1.280	486	4.86
@ 72 HOUR RATE	1.280	459	6.38
@ 50 HOUR RATE	1.280	438	8.76
@ 24 HOUR RATE	1.280	386	16.09
@ 20 HOUR RATE	1.280	375	18.75
@ 15 HOUR RATE	1.280	352	23.45
@ 12 HOUR RATE	1.280	334	27.81
@ 10 HOUR RATE	1.280	319	31.88
@ 8 HOUR RATE	1.280	300	37.50
@ 6 HOUR RATE	1.280	278	46.25
@ 5 HOUR RATE	1.280	263	52.50
@ 4 HOUR RATE	1.280	244	60.94
@ 3 HOUR RATE	1.280	221	73.75
@ 2 HOUR RATE	1.280	191	95.63
@ 1 HOUR RATE	1.280	135	135.00

CYCLE LIFE VS. DEPTH OF DISCHARGE



VOLTAGE VS. DEPTH OF DISCHARGE



Ampere Hour capacity ratings based on specific gravities of 1.280. Reduce capacities 5% for 1.265 specific gravity and 10% for specific gravities of 1.250.

WWW.ROLLSBATTERY.COM

SUPPETTE BATTERY COMPANY 1 STATION RD SPRINGHILL, NS CANADA B0M 1X0

SPEC 01

13-12-01 REV. 1