



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Instituto
Ingeniería
Energética



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

TECNOLOGÍA ENERGÉTICA PARA DESARROLLO SOSTENIBLE

IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA ELÉCTRICO CC OFFGRID CON ENERGÍAS RENOVABLES EN EL CENTRO DE EDUCACIÓN AMBIENTAL DE LA ONG VERDE, BRASIL

AUTOR: DE SOUSA, MICHELLE DAIANA

TUTOR: ALFONSO SOLAR, DAVID

Curso Académico: 2021-02

09/2021

AGRADECIMIENTOS

Agradezco mi familia por el apoyo, incentivo y amor. A mi tutor por su atención y tiempo dedicado a me auxiliar. A mis grandes amigos de Una Energía Nada Corriente y claro los coordinadores de la ONG Verde que siempre creyeron en mí y participaron para que esto suceda.

RESUMEN

Este trabajo pretende dimensionar y evaluar la viabilidad de un sistema de corriente continua (CC) mediante tecnologías basadas en fuentes renovables que suministre energía al Centro de Educación Ambiental de la ONG Verde, Brasil. El estudio está compuesto por dos partes, en la primera se describe la demanda energética del centro, los datos climatológicos relevantes (como radiación solar y viento), especificaciones técnicas y costes de los equipos para la evaluación del sistema híbrido renovable. El análisis de viabilidad económica, balance de emisiones y dimensionamiento del sistema se evaluará mediante el software HOMER. Asimismo, se analizarán ventajas e inconvenientes del sistema funcionando en CC y CA en lo que respecta a los costes, la eficiencia, las pérdidas en los sistemas y los impactos ambientales.

La segunda parte se estudia la viabilidad de incluir el sistema combinado de la tecnología de concentración de energía solar (CSP), con motor Stirling, y la energía residual térmica de la cocina a leña para incrementar la fiabilidad y autonomía del sistema, ahorrando en baterías y reduciendo el coste final.

Palabras Clave: Energías renovables; Sistema híbrido; Instalación en CC; autonomía energética; OFFGRID.

ABSTRACT

This work aims to size and evaluate the feasibility of a direct current (DC) system using renewable energy technologies that provide energy to the Environmental Education Center of the Green NGO, Brazil. The study is composed of two parts, the first describes the energy demand of the center, the relevant climatological data (as solar radiation and wind), technical specifications and costs of the equipment for the evaluation of the renewable hybrid system. The economic feasibility analysis, emissions balance and system sizing will be evaluated using the HOMER software. Advantages and disadvantages of the system operating in DC and AC will also be analyzed in terms of costs, efficiency, system losses and environmental impacts.

The second part examines the feasibility of including the combined solar energy concentration technology (CSP) system, with Stirling engine, and the residual thermal energy of the wood-burning stove to increase the reliability and autonomy of the system, saving on batteries and reducing the final cost

Keywords: Renewable energies, hybrid system, DC installation, energy autonomy, OFFGRID.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	7
1. INTRODUCCION	10
1.1 Objetivos	12
1.2 Motivación	13
2. METODOLOGIA	13
2.1. Informaciones demográficas y climatológicas de la región	14
2.1.1. Descripción del local del proyecto	14
2.1.2. Condiciones climáticas solar y viento, diaria, anual	15
2.2. Planificación de la planta híbrida energética en sistema CC	17
2.2.1. Consumo y Demanda eléctrico y térmico del CEDUCA	18
2.2.1.1. Consumo eléctrico	18
2.2.1.2 Demanda eléctrica	19
2.2.1.3 Consumo y Demanda Térmico	21
2.2.1.3.1. Demanda de climatización	21
2.2.1.5. Demanda de Agua Caliente Sanitaria	24
2.2.2. Dimensionamiento de las tecnologías renovables	27
2.2.2.1 Sistema fotovoltaico	27
2.2.2.1.2. Controladores de carga MPPT.....	28
2.2.2.1.3. Aerogeneradores.....	29
2.2.2.1.4. Baterías.....	32
2.2.2.4. Paneles solares	34
2.3. Análisis Tecno-Económicas	35
2.4. Análisis Socioambiental.....	36
2.4.1. Emisiones de CO2 equivalente del proyecto	37
2.4.1.1 Beneficiarios y el impacto en la pobreza energética	38

2.5. Seguridad del Sistema CC.....	39
3. SIMULACIÓN DEL SISTEMA HIBRIDO	39
3.1. Modelaje de las tecnologías renovables	39
3.2. Diseño de la matriz eléctrica	42
3.3. Resultados de las simulaciones y discusiones.....	45
3.3.1. Tecno-económico.....	45
4. COMPARACIÓN DE SISTEMAS DC vs AC	49
4.1 Comparación Tecno-económico.....	52
4.2 Estudio Socioambiental	53
5. SIMULACIÓN EN EL HOMER ENERGY	53
5.2. Datos inseridos	54
5.3. Resultados colectados	56
5.4. Comparativo Simulación Calculada Y Sistema HOMER	62
6. ESTUDIO DE CASO SISTEMA DE COGENERACIÓN	63
6.2. Implementación del Sistema de cogeneración en el sistema CC.....	63
6.3. Dimensionamiento del Sistema de cogeneración.....	64
6.3.1. Cocina de leña.....	65
6.3.2. Colector concentrador solar - CSP Dish -	67
6.3.3. Motor Stirling.....	74
6.4. Diseño del sistema instalado.....	77
6.5. Análisis Energético y Económico	77
6.5. Resultados y discusiones	80
7. CONCLUSIÓN E RECOMENDACIONES.....	82
REFERENCIAS.....	83
ANEXOS.....	85

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- ETAPAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO	14
FIGURA 2 - LOCALIZACIÓN SATÉLITE CEDUCA	15
FIGURA 3- LOCALIZACIÓN DEL CENTRO DE EDUCACIÓN AMBIENTAL.....	15
FIGURA 4 - IRRADIACIÓN SOLAR DIARIA PROMEDIO MENSUAL (kWh / m2. día) DEL AÑO	16
FIGURA 5 DATOS DEL VIENTO EN CEDUCA	17
FIGURA 6 – DISEÑO DE LA PLANTA CEDUCA.....	18
FIGURA 7- CONSUMO ELÉCTRICO CEDUCA	19
FIGURA 9- CURVA DE CARGA DIARIA CEDUCA	20
FIGURA 10 - CARGA TÉRMICA TOTAL ANUAL	24
FIGURA 11 - CONSUMOS DE LOS PUNTOS DE USO. FONTE: NBR 15569/2020.	25
FIGURA 12 – CONSUMO ACS60°C CEDUCA	27
FIGURA 13 - PANEL FOTOVOLTAICO 340W – OSDA ODA340-36-P.....	28
FIGURA 14 - CONTROLADOR DE CARGA MPPT XTRA	29
FIGURA 15 - AEROGENERADOR NOTUS 138, 1200W.....	30
FIGURA 16- CURVA DE DESCARGA DE LA BATERÍA ESTACIONARIA.....	33
FIGURA 17FIGURA X BATERÍA HOPPECKE 12OPzS	34
FIGURA 18 – COSTE DE ENERGÍA GENERADA / TECNOLOGÍA.....	36
FIGURA 19 – ESQUEMA DE LA MATRIZ ENERGÉTICA - CEDUCA.....	43
FIGURA 20 DISEÑFINAL DE LA INSTALACIÓN.	44
FIGURA 21 - CONFIGURACIÓN DE LA MATRIZ PV.....	44
FIGURA 22 – REPARTICIÓN DE LOS COSTES TOTAL DEL PROYECTO	46
FIGURA 23 – NPV CEDUCA – SIMULACIÓN - CALCULADA	49
FIGURA 24 - COMPARACIÓN SISTEMAS CC VERSUS CA.....	50
FIGURA 25- COMPARACIÓN CONSUMO CC Y CA.....	51
FIGURA 26 - COMPARATIVO DE COSTO DE INVERSIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS EN CC Y CA.	52
FIGURA 29 - ARQUITECTURA DE LA SIMULACIÓN DE HOMER ENERGY.....	55
FIGURA 30 - PROMEDIO DE LA DEMANDA DIARIA Y MENSUAL.....	55
FIGURA 31 PRESENTA EL POTENCIAL DE LOS RECURSOS EÓLICOS Y SOLARES EN CADA MES.....	56
FIGURA 32 - VALORES PARA LA EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DEL SISTEMA	57
FIGURA 33 – RESULTADOS OPTIMIZADOS DE LA SIMULACIÓN HOMER	58
FIGURA 34 – NPC GENERADO POR LA SIMULACIÓN HOMER.....	58
FIGURA 35 - COMPARATIVO SIMULACIÓN CC Y CA.....	61
FIGURA 36 - ESQUEMA DE COMUNICACIÓN PROPUESTO PARA EL PROYECTO.....	64

FIGURA 37 - DISEÑO Y LAS MEDIDAS CONSTRUCTIVAS (FUERTES & FUERTES, S.F.) - ADAPTADO.....	65
FIGURA 38 - DEMOSTRACIÓN CSP CON EL MOTOR STIRLING.....	70
FIGURA 39 - FODA DEL MOTOR STIRLING EN EL PROYECTO.....	75
FIGURA 40 - MOTOR / GENERADOR STIRLING DE PISTÓN LIBRE MEC EM1 - CICLO STIRLING IDEAL.....	76
FIGURA 41 - EM1 - 230VAC-50 HZ MICROGEN ENGINE CORPORATION.	76
FIGURA 43 – DISEÑO DEL SISTEMA INSTALADO	77
FIGURA 44 - ESTIMACIÓN ENERGÍA SISTEMA COGENERACIÓN – VERANO	78
FIGURA 45 – ESTIMACIÓN ENERGÍA SISTEMA COGENERACIÓN – INVIERNO	79
FIGURA 46 – ENERGÍA ÚTIL PARA COGENERACIÓN VERANO Y INVIERNO.....	81

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 – VALORES DEL CONSUMO ELÉCTRICO DEL CEDUCA	19
TABLA 2– DEMANDA DE CARGA POR TRANSMISIÓN TÉRMICA.....	22
TABLA 3 – RESUMO DEMANDA TÉRMICA.....	23
TABLA 4 – DEMANDA TÉRMICA ACS.....	26
TABLA 5 – DISPOSICIÓN DE AEROGENERADORES POR DIFERENTES APORTACIONES	32
TABLA 6 – DIMENSIONAMIENTO DE LAS BATERÍAS POR EL DÍA DE AUTONOMÍA	33
TABLA 7 - COSTES DE LOS SISTEMAS DE ENERGÍA / MÓDULO.....	35
TABLA 8- ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO	36
TABLA 9 - FACTORES DE EMISIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO POR GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD	37
TABLA 10 – EMISIONES DE CO2 DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA - CEDUCA.....	38
TABLA 11- ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO DE LAS TECNOLOGÍAS.....	40
TABLA 12 – RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.	41
TABLA 13 - COSTO DE INVERSIÓN DE CADA SISTEMA Y EL PRECIO DE LA ENERGÍA ANUAL.....	45
TABLA 14 - INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO CEDUCA.....	46
TABLA 15 – COSTES DE O&M E INGRESOS ANUALES	47
TABLA 16– VARIABLES ECONÓMICAS PARA ESCENARIOS DE REFERENCIA, MEJOR Y PEOR	47
TABLA 17- VALORES DE LA ENERGÍA COBRADA EN LA TARIFAS ELÉCTRICA CEMIG.....	53
TABLA 18 - COSTOS INICIALES, DE REEMPLAZO Y DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS COMPONENTES	56
TABLA 19 - COMPARATIVO SIMULACIÓN CALCULADA Y SISTEMA HOMER.....	63
TABLA 20 - ESPECIFICACIÓN CONSTRUCTIVA Y OPERACIONAL DE LA COCINA DE LEÑA CEDUCA.....	66
TABLA 21 – ESPECIFICACIÓN DE LA CHIMENEA	67
TABLA 22 - ESPECIFICACIONES DEL CSP UTILIZADO EN EL PROYECTO.....	68
TABLA 23 – DISTANCIA FOCAL DEL CONCENTRADOR.....	69
TABLA 24	71
TABLA 25 – DIÁMETRO DEL CONCENTRADOR	71
TABLA 26 – CICLO DE POTENCIA	73
TABLA 27	80

1. INTRODUCCION

La electricidad no está al alcance de todos. En 2019, el número de personas sin acceso a la electricidad fue de 770 millones, el avance es desigual y, aún más alarmante con la pandemia Covid-19 (IEA, 2020), que presenta tendencias negativas que contribuyen al aumento de la pobreza energética global. Los datos del censo demográfico del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), considera dos millones de brasileños sin acceso a electricidad (WWF20, 2020). La ineficaz gestión pública del sector eléctrico y la negligencia en la resolución y acciones alternativas a estos problemas, dificultan el desarrollo de una infraestructura adecuada y el auge de la energía para todos. De hecho, las condiciones de bajo índice de desarrollo humano y las desigualdades socioeconómicas relacionan directamente a la falta de energía de familias y comunidades (OETEC-ID, 2012).

Gran parte de la matriz energética brasileña y muchos otros países aún dependen de la quema de carbón, la represa de ríos y la inundación de bosques con daños irreparables a la ictiofauna, el desplazamiento de etnias, incluidas las comunidades indígenas y quilombolas. El despilfarro de energía y desintegración de sectores y personas desequilibra todo el ecosistema y aumenta el desprecio por los derechos humanos.

La globalización y el avance tecnológico descontrolado permitió la producción y el uso ineficiente de las energías, el sistema más desequilibrado, inseguro y de alto costo. Presenciamos con frecuencias **apagones de energía** imprevistos y **sin** contingencia juntamente con el ritmo de crecimiento linear de las tarifas energéticas y encargos.

La pobreza humana y energética es un factor incomprensible con tanta abundancia de recursos naturales y con el potencial humano de transformar problemas en soluciones. Un gran potencial de energía está siendo desperdiciada por malas estrategias y principalmente debido a intereses particulares.

El paradigma inequívoco de la **relación del consumo con el bienestar** provoca la insostenibilidad del ecosistema proyectando preocupaciones actuales y futuras.

Ante esto, se propone soluciones con el proyecto de electrificación en sistema suministrado en corriente continua (CC) a fin de evaluar las ventajas de este modelo considerando que las energías renovables aprovechadas de la energía eólica y solar trabajan con esta configuración CC optimizando el sistema. Asimismo, **gran parte de los equipos y la nanotecnología posee de salidas CC incorporadas con menor consumo y**

mayor eficiencia energética que los equipos de corriente alterna, lo que contribuye al ahorro de energía e inversión de capital. La investigación será para el Centro de Educación Ambiental (CEDUCA) localizado en la región rural de Rio Manso, Minas Gerais, Brasil.

A partir del sistema híbrido de energías renovables, el estudio visa suprimir por voltaje VCC de corriente continua (CC: 5, 12, 19 y 24) V, es decir, sin conversión a 110 o 220 VCA (voltios de corriente alterna). Además, se utilizará energía solar térmica (vacuo) para la producción de agua caliente sanitaria (ACS).

Usualmente los equipos en CC usan menos energía que equipos en CA estándar. En los sistemas de CC no hay interacciones de potencia reactiva, lo que sugiere que hay pocos problemas de estabilidad; El control del sistema parece estar orientado únicamente hacia la regulación de voltaje (Opiyo, 2019). Los contratos de Energía del Estado de California, Estados Unidos, por ejemplo, asume un 15% de potencia CC que se pierde en la conversión a potencia CA. Por lo tanto, un kW_{AC} solar fotovoltaico es aproximadamente el 85% de un kW_{DC} solar fotovoltaico (Gipe, 2009).

En la segunda parte del proyecto, a fin de aumentar la seguridad y garantizar estabilidad en el sistema híbrido se implementa la cogeneración con la tecnología CSP. El sistema de cogeneración **ahorra baterías** al integrar la energía recibida por la cocina de leña y el concentrador solar, además del almacenador térmico que aumenta la eficiente del diseño. La utilización de la cocina de leña en el proyecto posibilita atender el consumo a momentos de inestabilidad energética y genera energía delante la necesidad.

El **CSP Dish se evalúa más útil y fiable que los paneles solares**, a la vez que concentra mayor caloría solar, además de funcionar como generador de energía eléctrico.

Una vez que el sistema CC posee de menor demanda y perdidas, el CSP con **motor Stirling puede ser tan fiable como el Panel fotovoltaico**.

La generación a partir de fuentes renovables alimentada por corriente continua, a pequeña escala, disminuye considerablemente los costos de inversión y energía, además, admite sistemas autónomos. El proyecto CEDUCA es la clave para hacer accesible la energía a millones de personas, especialmente en zonas remotas y en condiciones vulnerables.

La eficiencia de sistemas CC, en gran parte por reducir conversiones innecesarias y perdidas. Asimismo, ahorra la energía primaria y final de extracción, transporte y generación, como también refleja directamente en el aumento de la eficiencia de las baterías, tanto en su intensidad de carga como en su vida útil. El trabajo se desarrolla

con tecnologías apropiadas que son fáciles de instalar y mantener a las comunidades, incluso considerando su auto instalación. Incluye la participación de la sociedad y se centra en su independencia y empoderamiento.

Por último, pero no menos importante, el trabajo comprende la conciencia de un proyecto saludable en armonía con las personas y el medio ambiente mediante el uso de tecnologías apropiadas de fuentes limpias, es decir, baja complejidad y costo a apropiarse técnicamente a las necesidades del local, así como reducir el impacto ambiental. El estudio objetiva la replicación en otros contextos, regiones y países. Está conscientemente diseñado para el consumo necesario sin excesos y sin desperdicio energético.

1.1 Objetivos

Se desea proporcionar una comprensión y avanzar en el conocimiento de métodos para facilitar el diseño y desarrollo de sistemas de electrificación eficiente para comunidades remotas en Brasil y en todo el mundo. El trabajo será contemplado en el Centro de Educación Ambiental (CEDUCA).

Como también visa el cambio de la concepción sobre la necesidad del uso de la energía y su desperdicio por inadecuada gestión e ineficiencia. El proyecto propone desarrollar un marco clave para mejorar el concepto y la práctica de la sostenibilidad.

OBJECTIVOS ESPECÍFICOS:

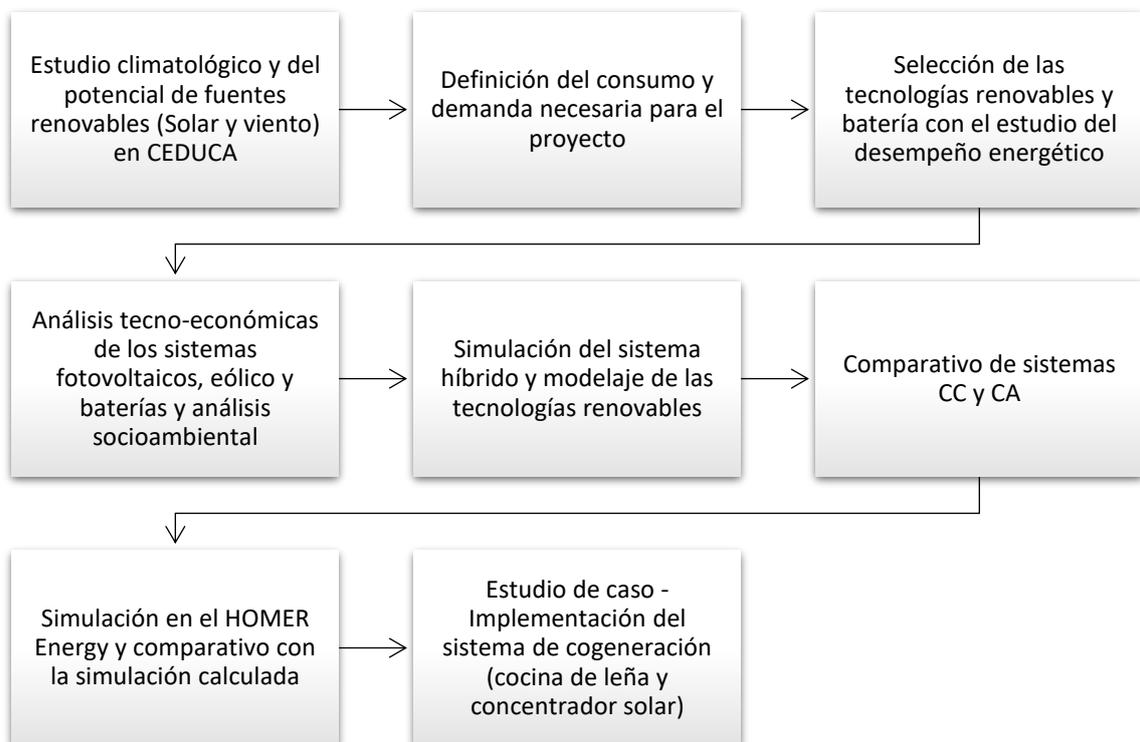
- Generar autosuficiencia energética eficiente a bajo coste por tecnologías renovables apropiadas;
- Consumo consciente y autosuficiencia energética al Centro de educación Ambiental
- Empoderar personas cuanto la capacidad por ellas mismas al crear instrumentos productivos y resolutivos;
- Mitigar el impacto negativo ambiental y elevar a conciencia colectiva socioambiental.
- Replicar el proyecto a lugares, comunidades y situaciones semejantes.

1.2 Motivación

La intención recíproca por contribuir para la transformación social con la ONG Verde, Brasil, ha permitido la oportunidad de avanzar con proyectos investigativos sociales a cooperar con las comunidades vulnerables. Creo que la autonomía estructural impacta en la psicológica consistiendo a la evolución humana, justicia en un proceso sostenible. La sensibilidad por celar y utilizar conscientemente los recursos naturales y difundir enseñanzas para la integración de todos seres vivos propone un ambiente sano a todos envueltos. La satisfacción por conducir las investigaciones científicas hacia la reducción de injusticias y problemas sociales instiga la realización de un trabajo cuidado y utilitario.

2. METODOLOGIA

La metodología realizada en este proyecto dispone de colecta de datos, cálculos utilizando la herramienta Excel y simulaciones en el HOMER. En el desarrollo del proyecto seguirá las etapas ilustradas en la Figura 1.



Las posibles configuraciones del sistema híbrido serán analizadas considerando la adquisición de componentes disponibles en el mercado, por eso, contempla el estudio de los aspectos técnicos y económicos, así como la evaluación de la performance del sistema frente a las diferentes variables de proyecto.

2.1. Informaciones demográficas y climatológicas de la región

Para conducir el proyecto más sostenible se investigará tecnologías renovables apropiadas al local, como paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, paneles solares, concentrador solar, además de del aprovechamiento calorífico de la cocina de leña que integrará al sistema de cogeneración. Al visar aumentar la eficiencia energética, a bajo costo con un máximo de recursos renovables y del local, constará de estudios estratégicos para el dimensionamiento híbrido de las tecnologías energéticas mediante a los recursos naturales, solar y viento del Centro de Educación Ambiental.

2.1.1. Descripción del local del proyecto

El proyecto proveerá energía eficientemente aislada para el Centro de Educación Ambiental (CEDUCA) de la ONG Verde, Brasil. Localizado en Rio Manso, municipio brasileño del estado de Minas Gerais, ubicado en la Región Metropolitana de Belo Horizonte. Su población estimada en 2020 era de 5.879 habitantes (IBGE, 2019) con un área total municipal de 231 540 km². El CEDUCA se localiza en área rural a aproximadamente 8 km del municipio y está en la altitud de 950-1225m, con relevos y clima tropical de altitud. El terreno mide 30 hectáreas.

Las actividades en el Centro contemplan la realización de cursos del ámbito sostenible, como energías renovables y tecnologías, ecología, autosuficiencia, entre otras. Asimismo, será un punto de visitación e incentivo de proyectos participativos para estudiantes, interesados y voluntarios.



Figura 2 - Localização satélite CEDUCA

2.1.2. Condições climáticas solar e vento, diária, anual

Los datos base de recursos renovables a utilizar en este trabajo, como la irradiación solar y velocidad del viento durante todos los meses del año, tendrá elementos del Centro de Referência para as Energías Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB, 2014). que dispone de datos del potencial energético solar y eólico por el programa SunData. Los valores son colectados mediante las coordenadas del local - 20.249639, -44.361389. En la Figura 2 está ilustrada la localización del CEDUCA.



Figura 3- Localização del Centro de Educación Ambiental

En la Figura 4 - Irradiación solar diaria promedio mensual (kWh / m2. día) del año. Figura 4 muestra los valores de irradiación solar del plano horizontal y planos inclinados con tres ángulos de

inclinación en relación con el plano horizontal: ángulo igual a latitud, 20°N el ángulo que proporciona el valor diario medio anual más alto y mínimo de irradiación solar, 21°N y 16°N respectivamente. Está representado la irradiación solar diaria promedio mensual (kWh / m² * día) para cada ángulo. En este trabajo utilizará la irradiación de 5,27 kWh / m² * día como base para los cálculos.

Estação: Rio Manso
Município: Rio Manso , MG - BRASIL
Latitude: 20,301° S
Longitude: 44,349° O
Distância do ponto de ref. (20,27° S; 44,3° O): 6,2 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
	Piano Horizontal	0° N	5,67	5,87	5,00	4,70	4,18	4,01	4,26	5,16	5,39	5,47	5,16	5,51	5,03	1,86
✓	Ângulo igual a latitude	20° N	5,18	5,61	5,10	5,22	5,03	5,06	5,28	6,01	5,70	5,33	4,78	4,98	5,27	1,22
✓	Maior média anual	21° N	5,14	5,59	5,09	5,24	5,06	5,10	5,32	6,03	5,70	5,32	4,75	4,94	5,27	1,28
✓	Maior mínimo mensal	16° N	5,31	5,71	5,11	5,16	4,90	4,88	5,12	5,88	5,68	5,40	4,89	5,11	5,26	1,00

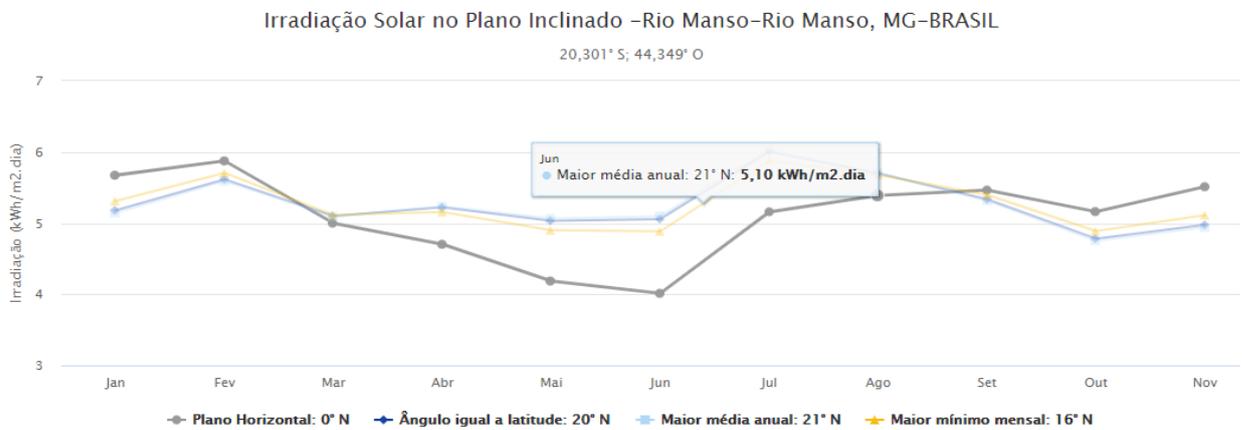


Figura 4 - Irradiación solar diaria promedio mensual (kWh / m². día) del año

Para las informaciones del viento, el programa consulta los datos del Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (CRESEB, 2014) que proporciona parámetros diversos entre ellos, la velocidad media estacional del viento en m/s, factores c y k, parámetros de la distribución estacional de Weibull del viento consolidado a 50 m de altura con una resolución de 1 x 1 km. En la Figura 5 muestra los datos utilizados en este trabajo.

Dados de Vento

Latitude: 20,27° S
Longitude: 44,3° O

Grandeza	Unidade	Dados de vento a 50 m de Altura				
		Dez-Fev	Mar-Mai	Jun-Ago	Set-Nov	Anual
velocidade média do vento	m/s	4,34	5,51	5,99	5,82	5,42
fator c		4,9	6,22	6,74	6,56	6,12
fator k		2,13	2,27	2,62	2,43	2,31
densidade de potência	W/m ²	90	174	201	195	165

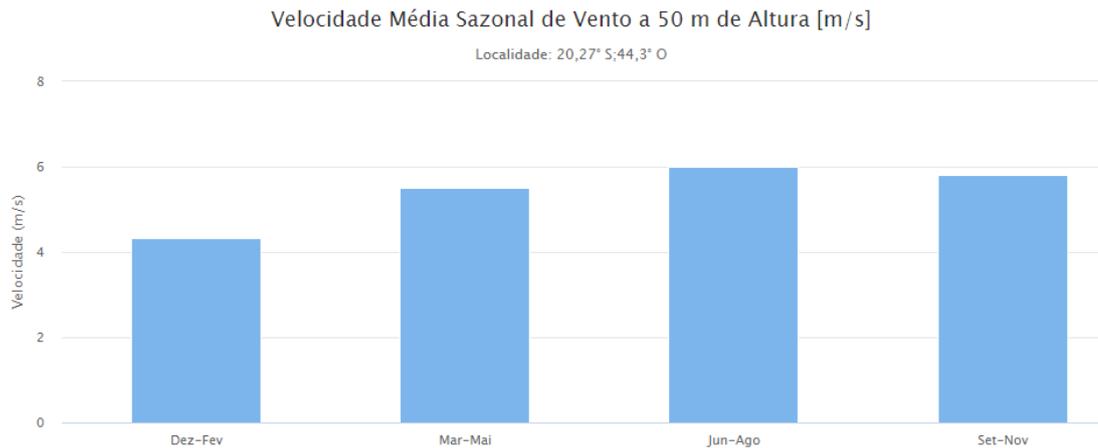


Figura 5 Datos del viento en CEDUCA

Para la obtención de los cálculos de demanda térmica, serán utilizado la base de datos meteorológicos del National Renewable Energy Laboratory (NREL) por la fuente SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) que incluye sistemas de información geográfica, de series de tiempo y herramientas de optimización energética (Shamshirband Shahab; Petkovic, Dalibor; Saboohi, Hadi; Anuar, Nor Badrul, 2014), de los cuales han retirados valores de temperaturas máximas y mínimas a cada hora del día de cada mes del año.

2.2. Planificación de la planta hibrida energética en sistema CC

En esta sección, se planificará un sistema autónomo simples que se basa en el consumo y demanda del Centro de Educación Ambiental, teniendo en cuenta principalmente el consumo de carga total, el tiempo operativo y la potencia de demanda pico del sistema CC. Asimismo, se presenta la selección y especificación de las tecnologías renovables a apropiarse a la necesidad de consumo del Centro. A partir del estudio de la performance y disposición adecuadas para la instalación del sistema CC.

El dimensionamiento del sistema CC diferencia entre las horas de sol diarias y viento en los periodos de invierno y verano. Por eso, el sistema dimensionado entregará suficiente energía en el peor de los casos. No obstante, esto puede hacer que los sistemas sean sobreestimados interfiriendo económicamente en el proyecto. En general podemos decir que diseñar sistemas fuera de la red se vuelve más criterioso.

2.2.1. Consumo y Demanda eléctrico y térmico del CEDUCA

Para el consumo y demanda del CEDUCA, se ha obtenido el inventario de las cargas para suplir la necesidad del local con el adecuado confort para los usuarios. Como el sistema estudiado trabajará con corrientes continuas, las cargas seleccionadas son de salidas de tensiones entre 12V y 24 V. En la Figura 6 ilustra la planta del Centro de Educación Ambiental elaborado por la equipe colaborativa ONG Verde con sus respectivos ambientes. Este diseño direccionará la visión para la instalación de las tecnologías energéticas.

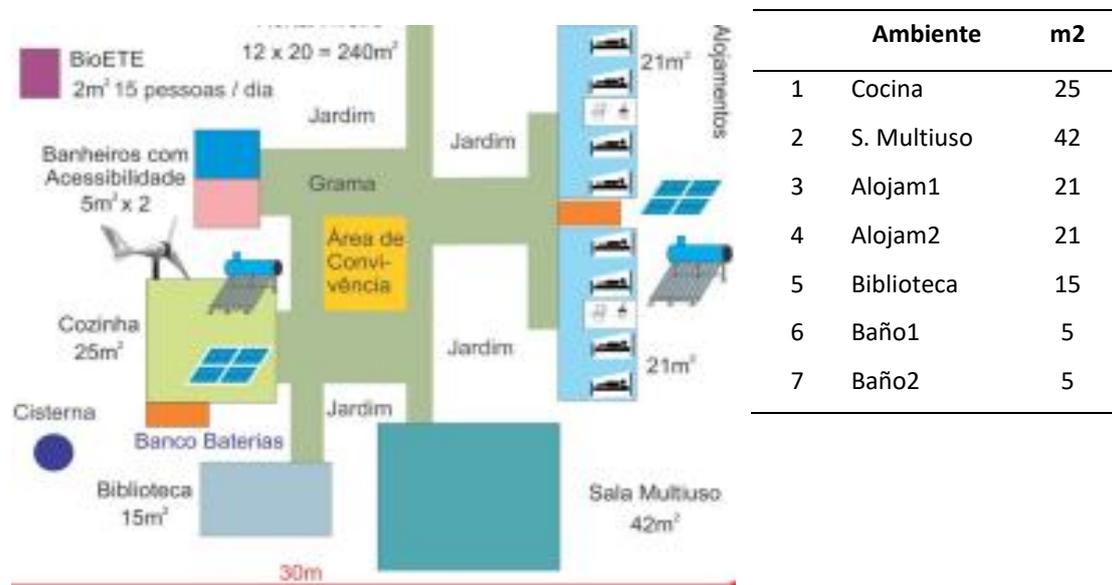


Figura 6 – Diseño de la planta CEDUCA

El proyecto arquitectónico constituirá de estudios bioclimáticos realizado por especialistas y moradores locales para plantear un diseño eficiente manteniendo el buen confort. La aplicación de técnicas sostenibles de aprovechamiento de recursos naturales para la reducción de pérdidas energéticas con armonía ambiental y participación comunitaria torna se primordial y necesarias para este proyecto.

2.2.1.1. Consumo eléctrico

Como mencionado, el sistema CC tendrá el voltaje operativo nominal entre 12 V, 24 V, es decir, las cargas seleccionadas en el trabajo pose de estas especificaciones. Los requisitos energéticos diarios de las cargas en términos de Energía, potencia, corriente

y tiempo de funcionamiento promedio de las cargas han sido colectados para el cálculo de consumo de energía (Wh) total del Centro. Se ha calculado por la multiplicación de la potencia nominal (W) de los aparatos por el tiempo de uso (h) basado en un promedio relacionado a las actividades diarias del CEDUCA. La Figura 7 representa el inventario demandado por el CEDUCA y sus respectivos consumos energético (kWh).

Figura 7- Consumo eléctrico CEDUCA

En el grafico se observa que el consumo del aire acondicionado posee de un valor significativo alto, y demandará mayor generación de energía por parte de las renovables. Se estima el promedio de utilización de 20 días en el mes, equivalente a 240 días del año.

Los cálculos se basan en el periodo de un mes y considera el valor constante para todo el año, ya que la variación no interferirá significativamente. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** están los resultados del consumo total anual, mensual y diario requeridos.

CONSUMO ELÉTRICO	
Consumo Diario (kWh/día)	34,87
Consumo Mensual (kWh/mes)	1046,03
Consumo anual (kWh/año)	12552,33
Consumo total Diario - con Baterías (kWh/día)	51,26

Tabla 1 – Valores del Consumo Eléctrico del CEDUCA

El consumo eléctrico requerido por la batería ha sido calculado a partir de la capacidad de corriente pico diaria (Ah) requerida por el CEDUCA, 1366,21 Ah multiplicado a la tensión de operación, 12V. totalizando 16.39 kWh. La corriente pico diaria se obtiene por la proporción de la potencia pico necesaria para la producción de las energías renovables.

2.2.1.2 Demanda eléctrica

Debido a la variabilidad de actividades diarias realizadas en el centro, como días de trabajos en campo, días de visitación externa y cursos ministrados, no es posible

tener precisión de la demanda hora en el día. Por esta razón, se propone un factor de potencia normalizada al período más crítico de operación en el CEDUCA a garantizar el suministro más coherente y equilibrado. En la Figura 8 ilustrada la curva de carga diaria resultante.



Figura 8- Curva de carga diaria CEDUCA

Observase el alto consumo de las cargas en el periodo entre las 20 y 23 horas debido al funcionamiento del aire acondicionado ST Parts 24 VCC, 9.000 BTUs. CEDUCA está localizado en una región de altitud y de humedad en el invierno, a esto, se considera el período más crítico para el estudio, del cual el factor de potencia horaria basa. Asimismo, es el horario de consumo de computadoras, televisiones y sistema de iluminación. No obstante, el horario entre 00 y 06 de la mañana obtiene un consumo mínimo por ser el periodo no operativo y menor necesidad de confort térmico. Además, se estima el aprovechamiento de energía térmica debido a la construcción bioclimática natural contemplada en el proyecto por la ONG Verde.

Aunque la demanda pico presentada en la



Figura 8 en el día es de 3.84 kW, en este trabajo se utilizará la demanda pico referente a la potencia mínima necesaria para la generación de las energías renovables calculada por la $P_{pico} =$

$$\text{Consumo diario CEDUCA} \frac{1}{EHS * (1 - \% \text{Perdidas sistema})}$$

Ecuación 1.

$$P_{pico} = \text{Consumo diario CEDUCA} \frac{1}{EHS * (1 - \% \text{Perdidas sistema})}$$

Ecuación 1

Donde,

EHS: Equivalente horas de sol. Tomase 5,27 h.

El dimensionamiento energético en áreas aislada, como el caso del CEDUCA, supone a una ligera sobreestimación de la demanda por considerar el estado más crítico, además, de la derivada de la energía renovable producida en el día. Por esta razón, el estudio de sistemas híbridos para este trabajo es sustancial.

2.2.1.3 Consumo y Demanda Térmico

El consumo y demanda térmico en este trabajo tendrá como referencia los datos proporcionados por la ONG Verde para facilitar en la evaluación de la necesidad térmica para el confort interior del CEDUCA y para el suministro de agua caliente. Este proyecto diferencia de proyectos convenciones por poseer de estudios bioclimáticos de las construcciones, es decir, aprovecha de las fuentes naturales, sol y viento, posicionando y modelando los edificios al mejor beneficio energético. Juntamente con las condiciones climáticas satisfactoria del local, que presenta temperaturas promedio anuales máximas y mínimas de 31,8°C y 15,5°C respectivamente.

2.2.1.3.1. Demanda de climatización

Las construcciones son de material natural, como principal elemento, el adobe, caracterizado por el menor valor de conductividad térmica, considera 0,3415 W/m2K en el proyecto, alcanzando hasta de la mitad la del ladrillo comercial, de valor 0,7270 W/m2K (Antonio Holguino Huarza, 2018). Además, adquiere mayor inercia térmica, alarga el tiempo de confort térmico en el interior de los edificios. Por esta razón, la demanda de climatización fue obtenida a partir de la carga térmica, potencia necesaria para mantener condiciones térmicas en su interior, basada en estudios científicos de construcciones por adobe (Antonio Holguino Huarza, 2018). En el seguimiento muestra la base de cálculos utilizados por la misma.

Cargas térmicas

Para las cargas térmicas de calefacción y refrigeración serán calculadas para tres ambientes del centro que presentan mayor necesidad del recurso, que son los dos alojamientos y la sala de múltiples fines. La carga térmica de transmisión es calculada por la Ecuación 2.

$$Q_{trans} = U * A * \Delta T$$

Ecuación 2

Donde:

Q: carga por transmisión de ese cerramiento (W).

A: área del cerramiento (m²).

U: coeficiente global de transferencia de calor (W/m² K).

ΔT : diferencia de temperaturas (K)

La diferencia de temperaturas utilizadas serán entre la temperatura interior deseada 25°C y la media entre la temperatura exterior (atmosférica) del periodo de invierno y verano, 15,5°C y 31,8°C, respectivamente.

Ambiente		DEMANDA de Carga por transmisión térmica			
Ambiente	m ²	ΔQ Bioconstrucción W INVIERNO	ΔQ Bioconstrucción W VERANO	ΔQ Convencional W INVIERNO	ΔQ Convencional W VERANO
S. Multiuso	42	174,27	-59,52	370,99	-126,72
Alojam1	21	87,13	-29,76	185,49	-63,36
Alojam2	21	87,13	-29,76	185,49	-63,36

Tabla 2– Demanda de Carga por transmisión térmica

Para las cargas térmicas de ventilación, se estimará referente datos del Manual de Aire Acondicionado de Carrier: Ventanas: 1,8 m³ /h·m² vent; Puertas: 2,5 m³ /h·m²

vent para realización de los cálculos utilizando la Ecuación 3 para este fin. El resultado corresponde a cada ambiente por separado.

$$Q_{vent_sen} = V_{vent} \cdot \rho_{aire} \cdot C_{paire} \cdot T_{int} - T_a$$

Ecuación 3

Donde:

Q_{vent_sen} : carga por ventilación sensible (W).

V_{vent} : caudal de ventilación total (m³ /s). Tomaremos 0,03m³/s

ρ_{aire} : densidad del aire (kg/m³). Tomaremos 1,2 kg/m³.

C_{paire} : calor específico del aire (J/kgK). Tomaremos 1000 J/kgK.

T_{int} : temperatura del local a climatizar, 25°C.

T_a : temperatura atmosférica, 15.5°C (invierno) – 31.8°C (verano).

Luego, para las cargas térmicas de infiltración, la expresión utilizada para la obtención es,

$$Q_{inf_sen} = V_{inf} \cdot \rho_{aire} \cdot C_{paire} \cdot T_{int} - T_a$$

Ecuación 4

Por tanto, obtiene la Tabla 3 resume de los valores obtenidos para las cargas térmicas de calefacción y refrigeración de 2190 horas del año (8meses), así como la carga térmica diaria y anual total de los tres ambientes.

DEMANDA TÉRMICA		
	CALEFACCIÓN (W)	REFRIGERACIÓN (W)
Transmisión/Ambiente	348,53	119,05
Ventilación/Ambiente	1097,03	789,46
Infiltración/Ambiente	1091,95	785,80
TOTAL Carga térmica (W)/Ambiente	2537,52	1694,31
Energía térmica necesaria diaria (kWh)	2,54	1,69
Energía térmica necesaria ANUAL (kWh)	5557,17	3710,54

Tabla 3 – Resumo Demanda Térmica

Constatase un consumo térmico mayor de calefacción de 2,54 kWh /día y 1,69 kWh / día de carga para refrigeración. Así siendo, ha planteado tres aires acondicionados de 9.000 BTUs para cada ambiente. Estos datos son referencia para el trabajo, igualmente se podrá replantear se necesario.

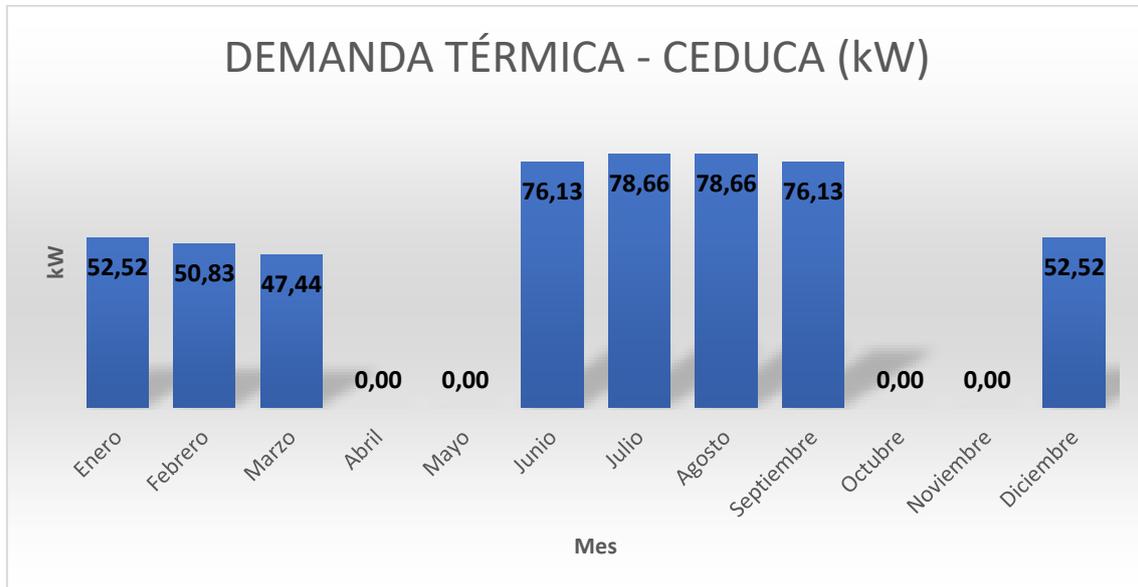


Figura 9 - Carga térmica total anual

De acuerdo con la ONG Verde, los meses de abril, mayo, octubre y noviembre no posee de demanda de climatización debido a las condiciones naturales suplir para suficientemente el confort interno de los edificios.

2.2.1.5. Demanda de Agua Caliente Sanitaria

En esta sección realizará cálculos para el consumo diaria de agua caliente en CEDUCA de acuerdo con el promedio de usuarios. El proyecto está localizado en Brasil y tomará referencia el criterio de consumo de la Norma técnica brasileña ABNT NBR 15569/2020. Esta norma se ocupa del diseño e instalación de sistema de calentamiento solar de agua de circuito directo, indica los consumos según los puntos de uso como retratado en la Figura 10.

Aparelhos	Consumo mínimo	Consumo máximo	Ciclo diário (minuto/pessoa)	Temperatura de consumo °C
Ducha de banho	3,0 L/min	15,0 L/min	10	39 – 40
Lavatório	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 – 40
Ducha higiênica	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 – 40
Banheira	80 L	440 L	banho	39 – 40
Pia de cozinha	2,4 L/min	7,2 L/min	3	39 – 40
Lava-louças (12 pessoas)	20 L	20 L	lavagem	39 – 50

Figura 10 - Consumos de los puntos de uso. Fonte: NBR 15569/2020.

El consumo diario en el CEDUCA será estimado para el promedio de 8 (ocho) personas diarias que harán la utilización del ACS60°C. Demandará a cada una el consumo de 40 litros diarios y por lo tanto contará con un consumo total de 320 litros por día a 60°C. Asimismo, para estimar la energía necesaria a este consumo, calculará la por la

Ecuación 5.

$$EACS = DACS \cdot \rho_{H2O} \cdot C_{pH2O} \cdot TACS - T_{red}$$

Ecuación 5

Donde:

EACS: energía necesaria para ACS (J/día).

DACS: demanda de ACS (l/día).

ρ_{H2O} : densidad del agua. $\rho_{H2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$.

C_{pH2O} : capacidad calorífica del agua. $C_{pH2O} = 4182 \text{ J/kgK}$.

TACS: temperatura de suministro de ACS, 60 °C.

T_{red} : temperatura del agua de la red.

El agua para ACS será retirada de la cisterna que presentan temperaturas variables entre 15°C y 25 °C (Morandi2, s.f.). Se estima valores promedio de la temperatura del agua de la red a cada mes del año como mostrado en la Tabla 4 – Demanda Térmica ACS.

DEMANDA TÉRMICA ACS		
Mes	T cisterna (°C)	Energía necesaria ACS60°C (MJ/día)
Enero	25	46,83
Febrero	25	46,83
Marzo	23	49,51
Abril	21	52,19
Mayo	20	53,52
Junio	17	57,54
Julio	15	60,22
Agosto	15	60,22
Septiembre	18	56,20
Octubre	20	53,52
Noviembre	23	49,51
Diciembre	25	46,83

Tabla 4 – Demanda Térmica ACS

En la Figura 11 – Consumo ACS60°C CEDUCA muestra la energía necesaria para producir ACS en el CEDUCA. Observase un consumo mayor en los meses junio, julio y agosto que son en periodo de invierno. Encontrase un promedio de 52,75 MJ/día, equivalente a 14,65 kWh/día.

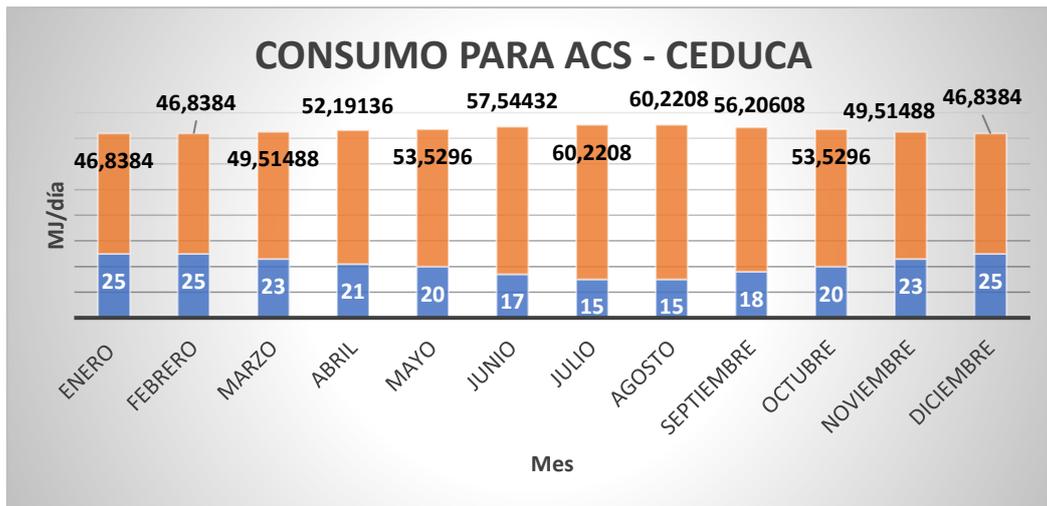


Figura 11 – Consumo ACS60°C CEDUCA

2.2.2. Dimensionamiento de las tecnologías renovables

Se pretende estudiar las tecnologías renovables dimensionándolas a través de las especificaciones técnicas, proporcionadas por los fabricantes, juntamente con cálculos de pérdidas en el sistema, el rendimiento de los equipos y la disponibilidad de la fuente solar y eólica a conocer la energía real generada en el sistema. En la continuidad será presentado los equipos adecuados utilizados para cumplir con el sistema híbrido eficiente.

2.2.2.1 Sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico está integrado por paneles de silicio y controladores de carga MPPT. La característica más relevante de este equipo para el proyecto es la generación de energía para sistemas CC directamente. La selección de los paneles ha considerado la eficiencia, el coste y el tamaño.

La irradiación solar del CEDUCA, de inclinación óptima de 25°, varía entre 1460 a 2201 kWh /m² dependiendo del mes del año. Para estos módulos con inclinación óptima, la energía solar anual es un poco más alta con irradiación promedio de 1923,55 kWh/m² (CRESESB, 2014). Con la duración del año (365 días), calculase el número promedio de horas de la irradiación solar directa diarias resultando a 5,27 horas/día. Aunque se debe garantizar los sistemas aislados a trabajar con valores conservadores, el dimensionamiento del sistema híbrido contará con la participación de otras tecnologías a flexibilizar estas cuestiones.

El panel fotovoltaico 340W – OSDA ODA340-36-P será utilizado en este proyecto. Caracteriza por poseer de una corriente máxima de potencia de 9,09 A y la eficiencia de 17,48%. En circuitos CC en que encuentra altas corrientes, este dato es relevante para

auxiliar en el dimensionamiento. En la Figura 12 está ilustrado este módulo con las principales especificaciones.

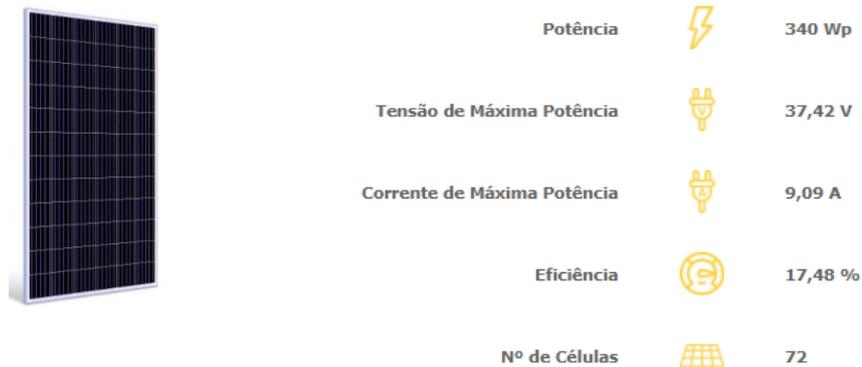


Figura 12 - Panel fotovoltaico 340W – OSDA ODA340-36-P

La planta fotovoltaica será de instalación suministrada por sistema CC. Este diseño propone ahorrar energía y gastos por reducir en conversiones. Las pérdidas por esta conversión, suele variar en eficiencia de 90%- 95%, los más comunes. De la misma forma se necesitará de componentes, como controladores de carga que requieren un mínimo de energía para funcionar. Estas deben ser consideradas en los cálculos finales de consumo de carga, y se estimará por su eficiencia de operación en el sistema.

En la práctica los módulos fotovoltaicos instalados sufren influencias a minimizar la eficiencia, como la temperatura, el sombreado, la variable posición del sol, suciedad, degradación en el tiempo y pérdidas joule de los cables. Por eso, para efecto de cálculo, se estima pérdidas totales de 22%, que suele ser mayor que el especificado por algunos fabricantes. Asimismo, para cálculos de energía final, se considera la eficiencia de los controladores de carga MPPT utilizados.

2.2.2.1.2. Controladores de carga MPPT

Los controladores de carga MPPT cuentan con la tecnología de conversión de energía más avanzada y eficiente. Son capaces de buscar el punto de máxima potencia de la placa solar y de acuerdo con el fabricante, extraer entre 20 y 30% más energía del panel fotovoltaico en la planta instalada, en comparación con un controlador de carga PWM. Es posible seguir la información de la disposición fotovoltaica, nivel de carga y

capacidad de la batería y energía consumida por la carga. Debido a su tecnología, los controladores de carga MPPT minimizan las pérdidas de potencia en la conversión al obtener la máxima energía en cualquier condición. Su eficiencia alcanzar el 98%.

En la Figura 13 está el controlador de carga MPPT XTRA que será utilizado en el proyecto. Las especificaciones muestran diversas corrientes de carga y descarga nominal de 10A hasta 40A, que dependerá de la disposición del panel fotovoltaico.



Tecnologia		MPPT
Tensão da Bateria		12/24 V
Corrente de Carga		30 A
Tensão Máx. do Sistema		100 Vcc
Bitola Máxima do Cabo		10 mm ²

Figura 13 - Controlador de carga MPPT XTRA

2.2.2.1.3. Aerogeneradores

El sistema eólico presenta una aportación relevante para el sistema híbrido, una vez que permite generar energía eléctrica por medio del viento en cualquier momento del día y del año, principalmente en la noche, o periodo de invierno en que la generación por energía solar se reduce, por lo tanto, equilibra el sistema y lo conduce a la eficiencia del proyecto de manera sostenible. El aerogenerador integra el generador eléctrico en el eje de una veleta que convierte la energía eólica en energía eléctrica, es decir, aprovecha de fuente renovable y no contaminante.

La localización del CEDUCA asume la media de viento considerablemente satisfactoria para el diseño eléctrico. En este proyecto priorizara el aerogenerador que satisfaga las condiciones necesarias locales y ambientales, por esta razón, el aerogenerador residencial cumple este objetivo, favorece fácil instalación, mantenimiento y costo beneficio. No obstante, esta tecnología de pequeño porte en el mercado nacional es restricta reduciendo las posibilidades de selección.

Como método de dimensionamiento, primeramente, se analizará los datos del aerogenerador como, la potencia nominal, la curva de potencia y comparativo de costos. Se obtiene como parámetro de elección el menor costo por la mayor energía generada. Además, utilizará como estrategia la disposición de al menos dos equipos para aumentar la posibilidad de eficiencia por la aplicabilidad en diferentes locales conduciendo a la reducción de perdidas por cables y beneficiar de la pequeña demanda de espacio

instalado. En este estudio se ha optado por el aerogenerador nacional NOTUS 138, potencia nominal de 1200W - 24VDC, que ya posee la salida en CC con controlador de carga integrado, como representado en la Figura 14.



Potência Nominal	1200 W
Rotação Nominal	480 RPM
Torque de partida	0,3 Nm
Tensão de saída	12/24/48/ volts
Velocidade Nominal	13 m/s
Velocidade de Partida	2,2 m/s
Velocidade Máxima	137 km/h

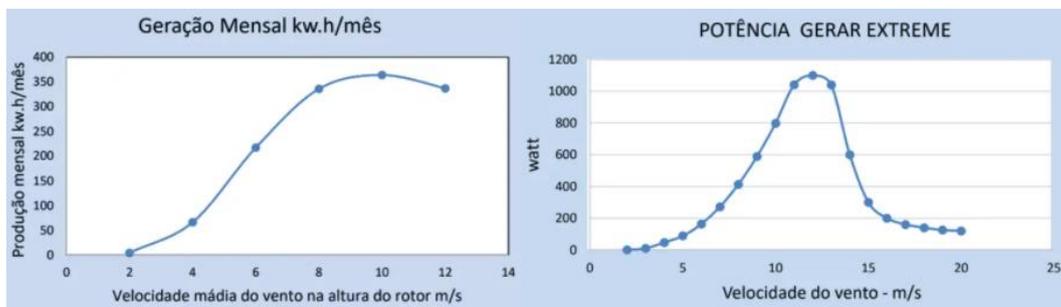


Figura 14 - Aerogenerador Notus 138, 1200W.

La energía producida por el aerogenerador será calculada utilizando la función de distribución de Weibull con datos de la curva de potencia. La Distribución de Weibull representará la probabilidad de ocurrencia de estos valores para estimar la potencia promedio del viento. A partir de estos valores se puede obtener la energía generada por el aerogenerador NOTUS a través de la multiplicación de la probabilidad de ocurrencia y la potencia disponible a cada velocidad media del viento.

Para los cálculos, relacionará la capacidad de carga diaria total con las especificaciones de la turbina eólica, para delimitar el número necesario para el proyecto, representado en la Ecuación 6

$$CCDT = (FS \times DPD/RI)/TNA$$

Ecuación 6

Donde,

CCDT = capacidad de carga diaria total (Ah / día)

FS = factor de seguridad (adimensional). Tomase 0,59 (Betz)

DPD = demanda pico diaria CEDUCA (Wh / día)

TNA = Tensión nominal del Aerogenerador (V). Tomase 24V.

RI = Rendimiento del inversor (%). Tomase 96%.

El factor de seguridad adimensional representa el desempeño aerodinámico de la maquina (la relación entre la potencia mecánica del conversor eólica y la potencia contenida en el viento. Se estima 0,59 segundo, Albert Betz. Se ha estimado porcentuales diferente (100%, 75%, 50%, 25%) de la demanda pico diaria para ser cubierta por la energía concedida por el aerogenerador NOTUS y para conocer posibilidades de disposición para el sistema hibrido.

Una vez con los resultados de la capacidad de carga diaria (CCDT), será posible calcular, segundo la Ecuación 7, el número de aerogeneradores necesarios para cumplir con la demanda diaria requerida en el proyecto.

$$NA = \frac{CCDT}{CDAVM}$$

Ecuación 7

Donde,

NA = Número de Aerogeneradores (unidad)

CCDT = Capacidad de Carga Diaria Total (Ah/día)

CDAVM = Carga Diaria del Aerogenerador (Ah / día)

La carga diaria del Aerogenerador es calculada en función de la energía disponible, obtenida de la distribución Weibull, de valor 399 Wh y la tensión nominal del equipo, 24V. En la Tabla 5 presenta la cantidad de aerogeneradores necesarios para cumplir con las diferentes demandas propuestas por la aportación de la energía eólica.

100%	75%	50%	25%
------	-----	-----	-----

Demanda diaria CEDUCA (kWh/día)	9,35	7,01	4,68	2,34
Capacidad de carga diaria total (Ah/día)	240,73	180,55	120,36	60,18
Carga diaria del aerogenerador (Ah/día)	17	17	17	17
Número de Aerogeneradores	14	11	7	4

Tabla 5 – Disposición de Aerogeneradores por diferentes aportaciones

2.2.2.1.4. Baterías

Las baterías son un componente importante de los sistemas híbridos autónomos por brindar operación de carga por la noche o en combinación con el sistema híbrido durante períodos de luz solar limitada o poco viento. Para la seguridad del sistema, se deben dimensionar la reserva de la capacidad de energía almacenada en las baterías.

Cuanto mayor sea la capacidad de la batería para almacenar energía, mayor será la autonomía de funcionamiento en ausencia de radiación solar del sistema. Esta capacidad es expresada en Ah (Amperios-hora). Esta unidad de energía cuantifica la corriente eléctrica que se puede extraer de la batería en un tiempo determinado, considerando condiciones específicas de descarga, temperatura y voltaje mínimo.

Por la razón del Centro de Educación Ambiental componer su sistema independiente de la red, se necesitará asegurar un periodo cómodo de suficiencia por las baterías evitando posibles subestimaciones, o mismo, sobreestimación provocando mayor costo de inversión. En este contexto, estudiará cuatro hipótesis de autonomía por las baterías a posibilitar análisis tecno-económicas y al mismo tiempo atender la necesidad del sistema. Las hipótesis fueron 2, 4, 6, 8 días con sus respectivos valores de capacidad de la batería y. En la Tabla 6 – Dimensionamiento de las baterías por el día de Autonomía sigue los valores obtenidos.

La configuración de las baterías, para un funcionamiento óptimo, son diseñadas para coincidir con el voltaje de salida de los módulos fotovoltaicos. El circuito abierto de voltaje (Voc) del módulo es de 49,6 V considerando, el voltaje de operación óptimo del 70% -80% del Voc, por lo tanto, 39.7 V que adecua al cargamento de las baterías con una tensión nominal de 12 V (conexión en paralelo) o 24 V (conectadas en serie).

DÍAS DE AUTONOMÍA (por mes)	2	4	6	8
Consumo corriente pico de cargas /día (Ah)	1366,21	1366,21	1366,21	1366,21
Capacidad requerida por la batería (Ah/mes)	2732,42	5464,84	8197,26	10929,68

Consumo batería máx. (descarga 86%) /mes	3177,23	6354,47	9531,70	12708,93
Capacidad de la batería 12V/unid (Ah)	253,33	253,33	253,33	253,33
N. Baterías (unidad)	13,00	26,00	38,00	51,00
Coste Inversión total baterías (€)	€ 8.096,29	€ 12.864,58	€ 18.802,07	€ 25.234,36

Tabla 6 – Dimensionamiento de las baterías por el día de Autonomía

El consumo corriente pico de cargas es la suma total de la energía requerida por cada carga en su utilización. La capacidad requerida por la batería mensual (Ah/mes) se obtiene multiplicando el consumo de las cargas CC total diaria, por el número de días de autonomía. Para la efectividad de los cálculos a considerar la prolongación de la vida útil de las baterías, serán utilizados para descarga máxima, 86%, conforme especificaciones del fabricante. La Ecuación 8 representa el cálculo realizado. Por fin, el consumo requerido a 86% de máxima descarga por la capacidad nominal de la batería, 253,33, obtiene el número total de baterías para suplir a los días sin energía renovable.

$$\text{Consumo de batería [Ah]} = \frac{\text{Consumo pico mensual [Ah]} \times \text{días de autonomía}}{86\%}$$

Ecuación 8

Observase la variación bastante alta del coste de inversión a cada 2 días a más de autonomía. Estos valores son importantes a la toma de decisión en el proyecto.

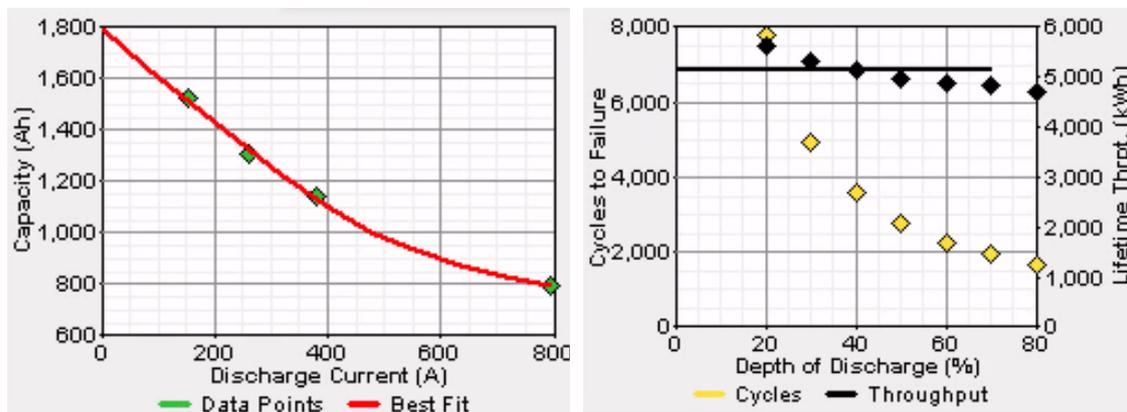


Figura 15- curva de descarga de la batería estacionaria.

En la Figura 15 ilustra la curva de descarga de la batería y el ciclo de vida ofrecido de 60 % DoD entre 2300 ciclos y 2000 ciclos.

Para este proyecto utilizará baterías estacionarias Hoppecke 12 OPzS 1500 2V de placas tubulares y capacidad nominal 1500Ah por la ventaja de sus ciclos profundos regulares y de durabilidad más larga en comparación a otras baterías estacionarias. Además, presenta un coste aceptable a las condiciones del proyecto.



Nominal capacity:	1500 Ah
Nominal voltage:	2 V
Round trip efficiency:	86 %
Min. state of charge:	30 %
Float life:	20 yrs
Max. charge rate:	1 A/Ah
Max. charge current:	306 A
Lifetime throughput:	5,136 kWh
Suggested value:	5,140 kWh

Calculated parameters	
Maximum capacity:	1,794 Ah
Capacity ratio, c:	0.317
Rate constant, k:	1.204 1/hr

Figura 16 FIGURA X batería Hoppecke 12OPzS

Los factores que reducen la vida útil de la batería son la alta frecuencia y profundidad de las descargas y la alta temperatura de funcionamiento. Con eso, se podrá analizar el sistema CC como aún más satisfactorio para la instalación eléctrica, a la vez que aumenta la eficiente al mantener su frecuencia constante y las descargas más lenta para circuitos en CC, es decir, ahorra en pérdidas y aumenta el tiempo de respuesta, logrará un mayor tiempo de vida útil de las baterías.

Las configuraciones de las baterías para satisfacer la demanda de carga de 12 y 24 volts, tendrá la disposición dos baterías en serie para la suma de las tensiones nominales de 12V, resultando 24 Volts.

2.2.2.4. Paneles solares

El área requerida (m²) para los paneles solares dependerá básicamente de la radiación solar en el CEDUCA, de 5.27 kWh/m² y el consumo térmico promedio diaria requerido para ACS60°C, de valor 14.65 kWh. Los cálculos realizados para encontrar el área (A) de instalación de los paneles solares utilizará la Ecuación 9.

$$A = \frac{Q}{I} * R$$

Ecuación 9

Dónde:

Q: Energía diaria requerida (kWh);

I: Irradiación solar media (kWh / m²);

R: Rendimiento del colector solar (%). Tomase 70%

El rendimiento del colector solar se basa en la Tabla de Consumo INMETRO (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, 2020), con diferentes modelos y rendimientos entre 50% a 76%. Considera 70% para este trabajo y tendrán orientación hacia el norte geográfico a asegurar el mejor rendimiento de instalación.

2.3. Análisis Tecno-Económicas

Para los análisis tecno económicos del sistema eléctrico CC híbrido, tomará los precios de cada módulo/equipo de los sistemas de energía y conjuntamente evaluará la porción de energía generada por ellos. A los sistemas PV está añadido el coste proporcional del controlador de carga MPPT y otros utensilios utilizados a la instalación. De la misma forma, se incluye costes de instalación y accesorios el aerogenerador. En la Tabla 7 están representado los valores inseridos.

	Sistema PV	Aerogenerador	Batería 12 V-1500Ah
1 modulo / Equipo (R\$)	820,00	10692,00	18554,68
Controlador (R\$)	225,00	-	-
Accesorios/otros (R\$)	400,00	300,00	400,00
Instalación (R\$)	-	600,00	-
Total (R\$)	1445,00	10992,00	18954,68
Total €	€ 233,06	€ 1.772,90	€ 3.057,21

Tabla 7 - Costes de los sistemas de energía / Módulo

Se calculará la energía producida por cada tecnología por separado. Para los módulos PV ha atribuido el valor de potencia nominal de cada panel, 340W compensado a las perdidas total del módulo de 22% y el rendimiento del controlador de carga, 98%. Para los aerogeneradores, se ha tomado la densidad de potencia eólica promedio del local, 165 W/m² [7] multiplicado al área de las hélices, 4.75 m² y el periodo promedio de operación diaria. El periodo diario es encontrado por la multiplicación de la

probabilidad del viento en 5 m/s, velocidad promedia/día de la región, de 0,155 a las 24 horas del día, obteniendo 3.71 horas.

En la Tabla 8 presenta los costes de inversión de cada módulo/equipo, la aportación de energía producida por cada sistema, y la relación entre ellos. Por tanto, obtiene el coste de la energía producida de cada sistema de generación / almacenamiento. En la figura 18, ilustra estos valores.

	Unidad	€/modulo	kWh Generado/módulo	€/kWh
Sistema PV	1	231,20	1,37	168,80
Aerogenerador	1	1854,72	2,91	636,63
Baterías 12 V-1500Ah	1	3032,75	2,19	1383,88

Tabla 8- análisis tecno-económico

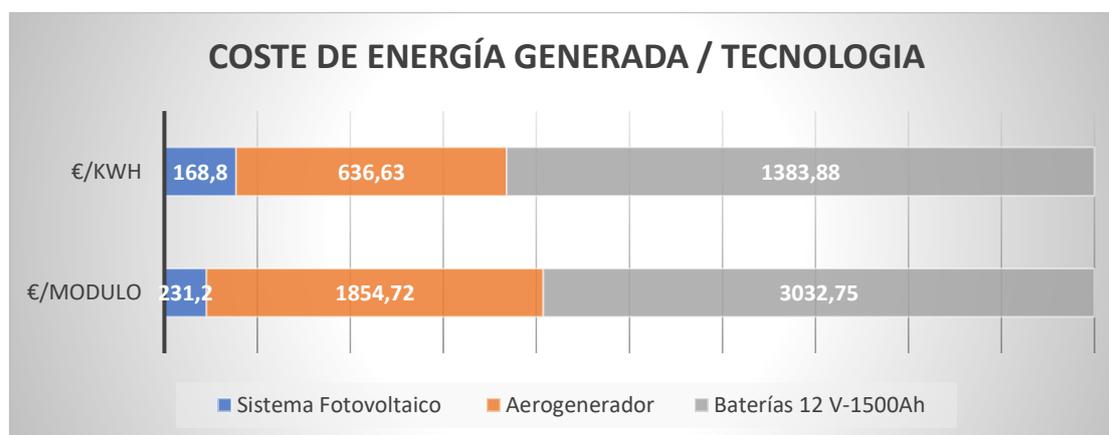


Figura 17 – Coste de Energía Generada / Tecnología

Constatase un alto coste por las baterías, seguido de los aerogeneradores. Es la una de las dificultades de instalaciones aisladas. Todavía el mercado dispone de baterías a precios valiosos, aunque sigue desarrollando mejores performances y el aumento de la oferta presupone una reducción de los costes.

2.4. Análisis Socioambiental

El análisis de los aspectos e impactos ambientales de la generación de energía se destacan principalmente por recurrentes desperdicios energéticos, contaminación ambiental, liberación de dióxido de carbono y dióxido de azufre, destrucción de toda fauna y flora de ecosistemas, además de la generación de residuos no degradables. Por eso, este trabajo contará con alternativas a mitigar estos impactos negativos.

En el proyecto tendrá como indicador de impacto ambiental la emisión de CO₂ por la electricidad producida del sistema híbrido. Además, con los resultados obtenidos se podrá comparar el impacto en el escenario de fuentes renovables y fuentes no renovable.

En el ámbito social, la correlación de datos históricos como, el impacto del crecimiento económico, la educación, la desigualdad de ingresos y consumo de energía residencial en niveles de pobreza, presentan evidencias empíricas de pobreza energética en Brasil. Este trabajo contará con evaluaciones respecto a la pobreza energética y la influencia del proyecto en este campo.

2.4.1. Emisiones de CO₂ equivalente del proyecto

Para los cálculos de las emisiones de CO₂ generada por la energía instalada en el CEDUCA, utilizará el factor de emisión de dióxido de carbono por generación de electricidad con base en los datos del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovaciones (MCTI) de Brasil (BRASIL, 2010). En Tabla 9 muestra los factores

Generación de electricidad	Fatores de Emisión de Dióxido de Carbono por Generación de Electricidad	Unidad
SIN – Sistema Interconectado Nacional Brasileño	0,09	kg.CO ₂ /kWh
Sistemas Fotovoltaicos	0,035	kg.CO ₂ /kWh

Tabla 9 - Fatores de Emisión de Dióxido de Carbono por Generación de Electricidad

Para evaluar económicamente la emisión de CO₂ en el proyecto asumirá el valor de \$ 30 / tCO₂ (toneladas de CO₂) (IEA, 2020). Con eso, esperase calcular el valor total de emisión de CO₂ de la generación de electricidad en el CEDUCA, por la multiplicación del factor de Emisión de CO₂ por sistemas Fotovoltaicos y el total de consumo de

electricidad requerida por el CEDUCA. De la misma forma, logrará obtener el costo total de la emisión de CO2 multiplicando el resultado del total de emisión de CO2 y el coste relativo. En la Tabla 10 presenta los resultados obtenidos.

EMISIONES DE CO2 EQUIVALENTE DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA - CEDUCA	
Consumo (kWh/año)	12552,33
Factor de Emisión CO2-S. Fotovoltaicos (kg.CO2/kWh)	0,04
Emisión de CO2 equivalente anual (kgCO2e)	439,33
tCO2	0,44
Coste anual-emisión de CO2 (€)	15.55

Tabla 10 – Emisiones de CO2 de la Instalación Eléctrica - CEDUCA

En el seguimiento del trabajo presentará el comparativo de los indicadores de emisiones de CO2 con sistemas CA de la red, utilizando el factor de emisión de CO2 para SIN.

2.4.1.1 Beneficiarios y el impacto en la pobreza energética

El municipio de Rio Manso, donde está localizado el CEDUCA, obtuvo un crecimiento en su IDHM (Índice de Desarrollo humano Municipal), con el actual valor de 0.648 (2010) y un PIB per cápita de 14.769.81 (2018) [6]. Igualmente se sabe que los datos estadísticos no definen la realidad de toda la población. Señalando que alrededor del 58% de las familias rurales del país son pobres en energía. Ya el 45% son pobres en ingresos. A través de los resultados, se asume que el incremento de las políticas públicas puede jugar un papel significativo en la reducción de la pobreza energética.

El proyecto CEDUCA aportará con informaciones y estudios técnicos y viabilidad para la instalación independiente de energía. Aunque estimará el valor de inversión inicial para este proyecto, se permite modelar el sistema híbrido de acuerdo con la necesidad de la familia o comunidad. Asimismo, el proyecto autónomo eximirá de encargos públicos periódicos.

2.5. Seguridad del Sistema CC

En el proyecto tendrá la protección de Equipos Eléctricos, dispositivos de protección para prevenir choques, variaciones de potencia en la red y protección de los usuarios y equipos. Están considerados: disyuntores de cortocircuitos que detecta corto o sobrecarga y dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) que protege contra picos de voltaje y rayos al drenar la sobrecarga al sistema de puesta a tierra.

El Reglamento brasileño, Norma reglamentaria (Norma Reguladora número NR 10 – Seguridad en servicios con electricidad), del Ministerio de Trabajo de Brasil, sistematiza lugares que donde existe peligro de descarga eléctrica. Señaliza tensiones menores a 50 V en corriente alterna y 120 V en las corrientes son inofensivas. Estos se denominan voltajes extra-bajos (EBT). Las tensiones superiores a 50 V e inferiores a 1000 V en corriente alternan y entre 120 V y 1500 V en corriente continua se denominan baja tensión (LT), mientras que las tensiones iguales o superiores a 1000 V en corriente alterna y 1500 V en corriente continua son llamado alto voltaje (AT).

3. SIMULACIÓN DEL SISTEMA HIBRIDO

A partir de las informaciones obtenidas en las secciones anteriores se permite simular diferentes disposiciones de las tecnologías renovables para mejor encuadrar a la capacidad de generación de energía con la necesidad y autonomía del CEDUCA. Asimismo, con el objetivo de posibilitar la replicabilidad en otros lugares, será modelado, a base de cálculos, el sistema híbrido con diferentes variables técnicos y económicos para la evaluación y tomada de decisión.

3.1. Modelaje de las tecnologías renovables

Se utilizará la herramienta Excel para facilitar los cálculos técnicos y económicos de los sistemas de energía. El método de cálculo será representado por 4 etapas. La primera etapa, **determinará las variables posibles de aportación** por el sistema fotovoltaico y el sistema eólico. Ha definido 5 posibilidades, (100%PV+0%Eólica), (75%PV+25%Eólica), (55%PV+45%Eólica), (44%PV+56%Eólica) y (22%PV+78%Eólica). Siguiendo en la segunda etapa, se encontrará la **demanda diaria que cada sistema de**

generación va a contribuir, a partir del porcentual de aportación definido en las 5 posibilidades de la primera etapa, es decir, el porcentaje en relación con la demanda pico diaria con las compensaciones de rendimiento del controlador de carga MPPT, 98%, de los cables, 99% y otras pérdidas, 96%. Totalizando una compensación de 7% del valor, resultando 10 kW/día, con la demanda de batería incluida. En este proceso, los sistemas CA independientes de la red, tendrían que compensar también con el inversor, a un valor en torno de 4% de compensación que podría hacer la diferencia a los costes finales del proyecto.

Luego en la tercera etapa, se logra encontrar la cuantía de módulos/equipos a contribuir en el sistema híbrido. Se calcula mediante la fracción de la demanda pico a aportar por el equipo de la específica configuración y la potencia eléctrica efectiva de la tecnología (kW) mostrada en la Tabla 11. Para mejor análisis de viabilidad, estudiara las variables económicas, como el coste de inversión inicial total y el coste de la energía producida (€ / kWh). Estos valores son presentados en la Tabla 11

	Potencia Nominal (kW)	Potencia Eléctrica efectiva (kW)	Energía producida diaria (kWh)	Costo Inversión/unidad (€)	Costo (€ / kWh)
Sistema PV	0,34	0,260	1,37	€ 231,20	€ 27,01
Sistema Eólico	1,20	0,78	2,91	€ 1.854,72	€ 101,86

Tabla 11- Análisis tecno-económico de las tecnologías

La energía producida diaria y el costo de inversión por unidad de cada sistema, obtiene el coste de la energía producida (€/kWh), calculado por la fracción del coste de inversión (€) de la unidad por la energía producida diaria (kWh) de la unidad. La cuarta etapa, evaluará el **coste de la energía total (€/kWh)** para cada simulación **y el coste de inversión total** para cada simulación. En las ecuaciones X Y, demuestra la forma de cálculo utilizado.

$$CE \text{ total. simulación}(x) = N.PV * CE.PV + N.AE * CE.AE$$

Ecuación 10

Donde,

CE: Coste Energía/unidad

x: Simulación referente

N.: cantidad de unidades/equipos

PV: Paneles fotovoltaicos

AE: Aerogeneradores

$$CI_{total, simulación}(x) = N.PV * CI.PV + N.AE * CI.AE$$

Donde,

CI: Coste de Inversión/unidad

Por tanto, los resultados de las simulaciones de las cinco posibilidades están presente en la Tabla 12.

SIMULACIÓN SISTEMA ELÉCTRICO CC

		SISTEMA PV	SISTEMA EOLICO	Coste sistema hibrido €/kWh	Coste Inversión sistema hibrido (€)
		100%	0%		€ 8.933,22
Simulación 1	1. Demanda kW/día	10,04	0,00	€ 1.043,56	
	Unidad	38,64	0,00		
		75%	25%		€ 12.637,30
Simulación 2	Demanda kW/día	7,53	2,51	€ 1.108,75	
	Unidad	28,98	3,20		
		62%	38%		€ 14.563,41
Simulación 3	Demanda kW/día	6,23	3,82	€ 1.142,65	
	Unidad	23,96	4,87		
		44%	56%		€ 17.230,35
Simulación 4	Demanda kW/día	4,42	5,62	€ 1.189,59	
	Unidad	17,00	7,17		
		22%	78%		€ 20.489,93
Simulación 5	Demanda kW/día	2,21	7,83	€ 1.246,96	
	Unidad	8,50	9,99		

Tabla 12 – Resultados de la Simulación.

En estas simulaciones concluye una mayor rentabilidad por el sistema PV. Esto se debe por el precio de la unidad y la mayor porción de energía producida por los mismos. Destacase que, no incluir las baterías en la simulación, reduce la precisión de la performance técnica de los componentes. El sistema eólico podrá garantizar técnicamente al incluir las baterías proporcionada energía en el momento de carencia de energía solar. Además, no ha considerado el periodo y estaciones del año, de lo cual la energía eólica lo podría superar la eficiencia en relación con la energía solar. La simulación 2 y 3 presenta una pequeña diferencia del coste de energía total, en el valor de € 35,47, no obstante, la inversión posee un coste significativo, de € 2015,56. A este modelo de simulación lo podrá hacer diversas tentativas hasta encontrar la disposición optima.

Por tanto, esta simulación presenta incertidumbres con la necesidad de mayor datos y cálculos. No obstante, auxilia en la decisión inicial y permite analizar los parámetros. En este caso específico, se podría remodelar el sistema eólico con precios más accesibles del mercado y de alta performance.

Considerando el contexto y objetivo del proyecto, para la instalación segura y eficiente, ha seleccionado la simulación 3 como efecto de cálculo para el diseño final de la instalación y la configuración de la planta fotovoltaica. Luego, el proyecto contará con 24 paneles, 5 aerogeneradores. 3 controladores de carga MPPT y las 24 baterías, para los cuatro días de autonomía.

3.2. Diseño de la matriz eléctrica

El diseño de la matriz eléctrica del sistema híbrido representado en la Figura 18 conecta los paneles fotovoltaico y aerogeneradores a través del bus de corriente continua a las cargas de consumo CC del sistema. El aerogenerador posee de un rectificador y controlador de carga interna de salida CC. Los paneles fotovoltaicos conectan al controlador de carga MPPT antes que llegue a las cargas y baterías. Estos miden el voltaje de las baterías y tratan de evitar la sobrecarga y la descarga excesiva.

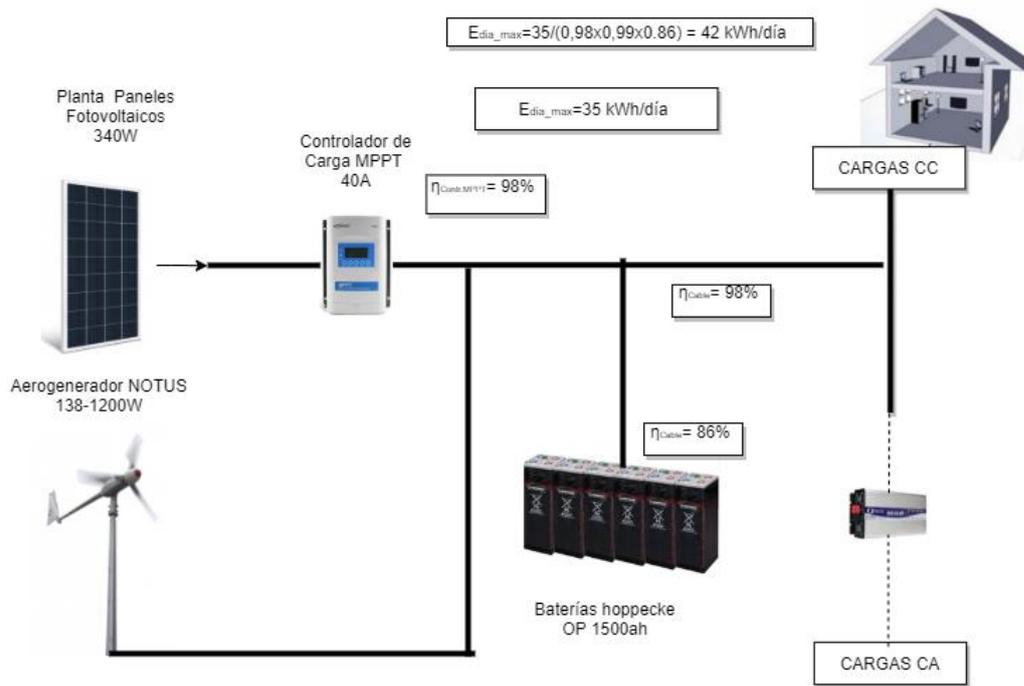


Figura 18 – Esquema de la Matriz Energética - CEDUCA

Considerando el suministro de energía de proximidad al sistema de consumo del CEDUCA, el sistema está acoplado los generadores CC cerca de las instalaciones de los controladores de carga y sistema de control de energía. En la

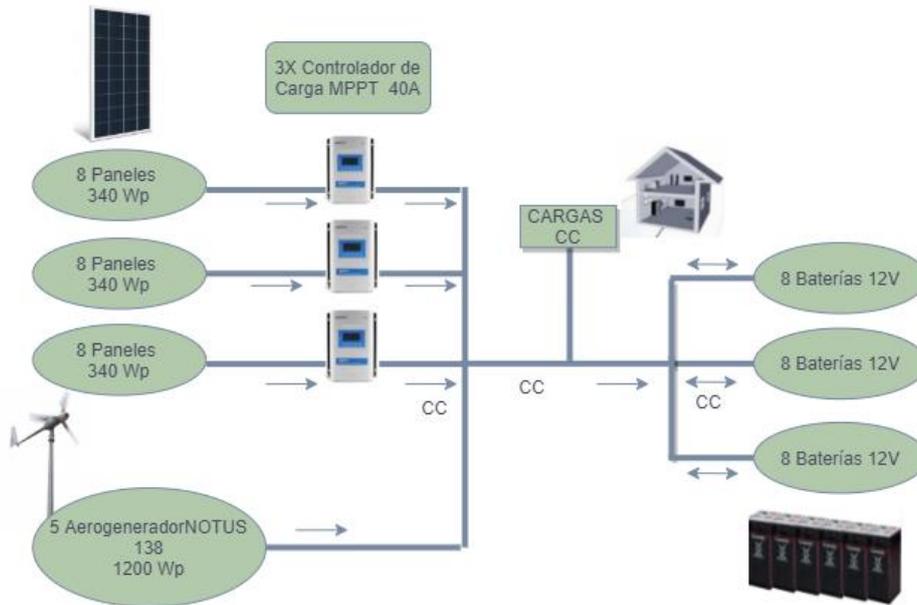


Figura 19 ilustra el Diseño final del dimensionamiento del sistema híbrido para la simulación 3.

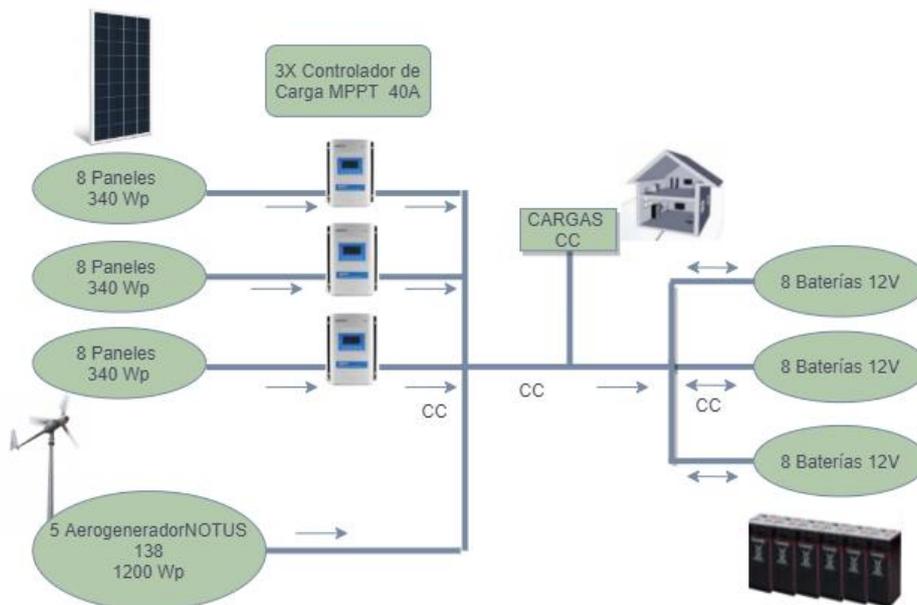


Figura 19 Diseñfinal de la instalación.

Para configurar la conexión de los paneles en el sistema CC, tomará la corriente pico, calculada, sabiendo que las cargas consumen una corriente más alta que en instalaciones en CA.

En este proyecto será configurado tres matrices para satisfacer el diseño arquitectónico de módulos, además, de ahorrar en cables y mejorar la eficiencia del sistema. En la Figura 20 encuentra la configuración de la matriz PV para este proyecto.

Configuración de 1 Matriz PV	
Número máximo en serie	2,46
Número en serie cada	2,00
Número máximo en paralelo	4,12
Número en paralelo cada	4,00
Número de paneles	8,00
Voltaje de la matriz (V) cada	41,20
Corriente da rede (A) cada	38,84

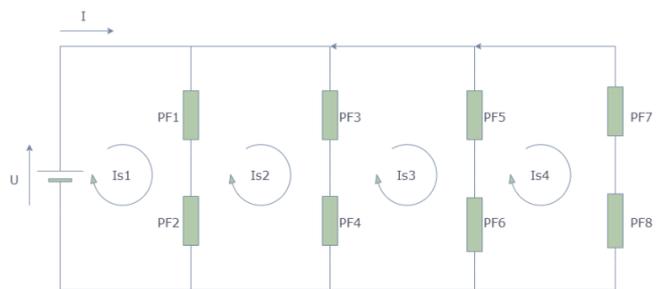


Figura 20 - Configuración de la Matriz PV

El número máximo permitido en serie y paralelo ha sido determinado a partir del controlador de carga MPPT de 40A y tensión de entrada de 100V. El máximo en serie es la relación entre la tensión máxima del panel por la tensión del controlador. Mientras el máximo número de paneles en paralelo obtiene con la relación entre las corrientes del panel y del controlador.

3.3. Resultados de las simulaciones y discusiones

3.3.1. Tecno-económico

En la presente sección serán presentado los costes finales del sistema híbrido y del proyecto en el todo. En la Tabla 13 presenta el costo de inversión total de los sistemas generadores y batería en el sistema híbrido.

INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO			
	Unidad	€/unidad	Coste total (€)
Sistema PV	24	€ 168,80	€ 4.051,25
Aerogenerador Notus 138	5	€ 636,63	€ 3.183,17
Baterías 12 V-1500Ah	24	€ 2.992,69	€ 71.824,56
Total €			€ 79.058,97

Tabla 13 - Costo de inversión de cada sistema y el precio de la energía anual.

Observase que el costo del sistema del aerogenerador es elevado. No obstante, presenta su eficiencia de generación suficientemente a compensar su precio al transcurrir de los años. La Tabla 14 muestra los costes de inversión de la instalación del sistema híbrido. No obstante, se debe considerar otros costes necesarios en el proyecto como la ingeniería, los costes laborales, los costes de adquisición de los muebles y los costes de ACS. En la Tabla 14 muestra estos valores finales de proyecto.

INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO CEDUCA		
Ingeniería	€	6.400,00
Costes laborales	€	3.101,86

Muebles	€	43.771,92
Sistema de energía (PV)	€	4.051,25
Sistema de energía (Aerogenerador)	€	3.183,17
Sistema de energía (Batería)	€	71.824,56
ACS	€	3.000,00
Impuestos ICMS y otros	€	43.937,15
INVERSIÓN TOTAL	€	177.285,90

Tabla 14 - Inversión total del proyecto CEDUCA

La inversión de las baterías presenta 53 % de toda la inversión del proyecto. Era el esperado proveniente de un proyecto aislado. El coste de la adquisición de los muebles destaca como el segundo más lata, 32 %. Esto se debe al alto precio de los equipos de sistemas CC en el mercado.

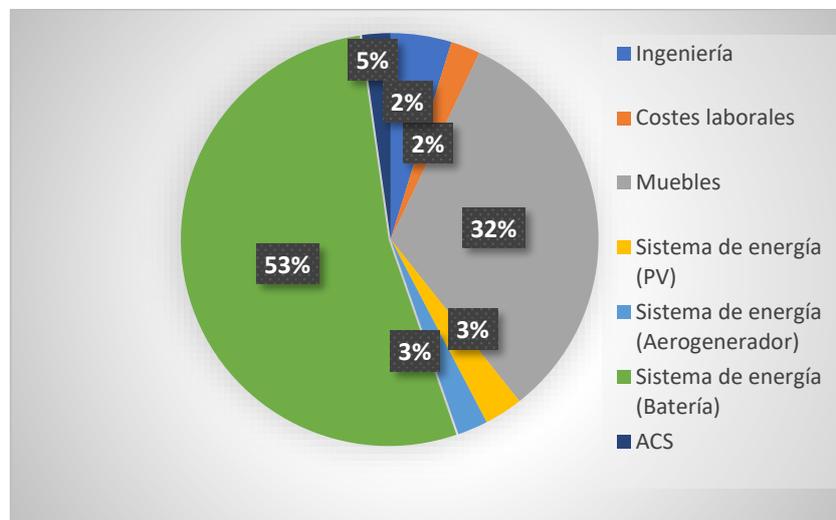


Figura 21 – Repartición de los Costes total del proyecto

A los costos de mantenimiento y operación será considerado el valor fijo de € 16,29 para base de cálculos. Estima un 0,5% del precio total de inversión de los sistemas de energía, PV, Aerogenerador, baterías y ACS, para contingencia de manutención o ajustes anual, de valor € 65.65. El Centro de Educación Ambiental pretende realizar las rutinas de limpieza y otros reparos por cuenta propia. Cuanto los ingresos anuales he tenido en cuanta el valor promedio de € 5 diario por 85% de ocupación de los 8 usuarios, resultando al primero año € 12.410,20.

Mantenimiento equipos	€	48,00
Caja de Contingencia (0,5%)	€	65,65
COSTO TOTAL O&M/año	€	113,65
Usuario/cursos/actividades	€	5
Ingresos diarios	€	34
Ocupación esperada		85%
INGRESOS ANUALES	€	12.410,00

Tabla 15 – Costes de O&M e ingresos anuales

Para la precisión de la análisis tecno-económicas y viabilidad del proyecto, ha sido propuesto tres escenarios de distintas variables económicas: referencia, mejor escenario y peor escenario representado en la Tabla 15. El indicar económico, Valor Actual Neto (VAN) o NPV (Net Present Values) evaluará los valores de flujos de caja de la inversión inicial del proyecto, O&M y sus ingresos anuales, en el periodo de 25 años de vida del proyecto.

	Referencia	Mejor escenario	Peor escenario
Inflación anual de la electricidad	0,073	0,010	0,100
Tasa de interés de mercado	0,030	0,010	0,060
IPC	0,020	0,040	0,010
Impuestos	0,400	0,000	0,450

Tabla 16– Variables económicas para escenarios de referencia, mejor y peor

Asimismo, ha sido calculado el valor actual de todos los pagos o Present Worth Factor (PWF), para analizar económicamente la oportunidad de la inversión inicial y los costos de Operación y mantenimiento a ser cubiertos durante los 25 años, combinado los valores de tasas de interés de mercado y el IPC para los 3 escenarios, como mostrado en la Tabla 16

$$PWF(IA) = \frac{IA}{TI - IPC} * \left[1 - \left(\frac{1 + IPC}{(1 + TI)} \right)^{25} \right]$$

Ecuación 11

$$PWF(CO\&M) = \frac{CO\&M}{TI - IPC} * \left[1 - \left(\frac{1 + IPC}{(1 + TI)} \right)^{25} \right]$$

Ecuación 12

Donde, TI: tasa de Interés de mercado

IPC: índice de precios al consumidor (inflación)

Por tanto, se calcula el NPV a partir de la Ecuación 13. El cálculo NPV nos permite, a través de las variables introducidas, comprender la viabilidad del proyecto real y posibles riesgos de negocio.

$$NPV_n = (CI + PWF.(CO\&M)) - PWF(IA)$$

Ecuación 13

Donde,

CI: Costo de Inversión

CO&M: Costo Operación y Mantenimiento

IA: Ingresos anuales

n: año analizado

En la Figura X está representado los resultados

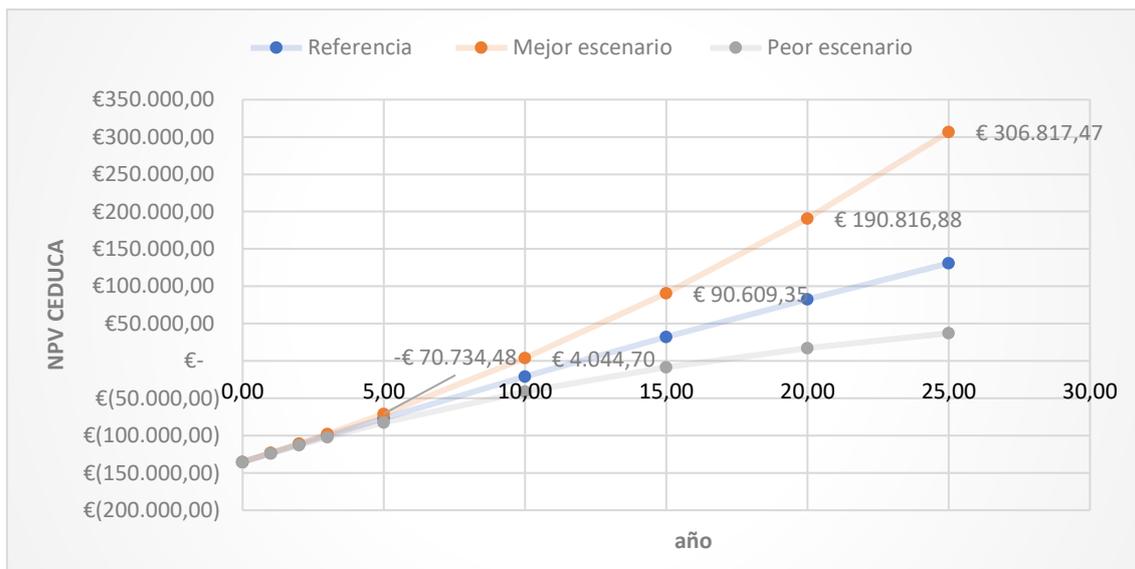


Figura 22 – NPV CEDUCA – Simulación - Calculada

El peor escenario, la referencia y el mejor escenario han sido calculados con diferente tasa de interés, de 1%,3% y 6% respectivamente. Observase la referencia, el net present value (NPV) torna positivo a partir del 12º año y empieza a obtener ganancias. Aunque, el proyecto posee de un alto costo de inversión, se concluye viable al presentar valores positivos de NPV. El ingreso anual auxilia para que el proyecto sea rentable. Cuanto mayor la cuantía de ingreso en el Centro, menor el tiempo para NPV positivo.

4. COMPARACIÓN DE SISTEMAS DC vs AC

La propuesta por utilizar el sistema CC en este trabajo demuestra la busca por alternativas más eficientes y económicamente viables. La ONG Verde contine proyectos en esta línea de trabajo. Han instalado la primera casa 12VCC fuera de la red con el uso de tecnologías energéticas renovables en Brasil. El experimento evidencia ventajas en esta utilización. En esta sección será introducido objetivamente las diferencias de las instalaciones eléctricas suministrada en corriente continua y corriente alterna. En la Figura 23 - Comparación Sistemas CC versus CA describe las principales diferencias entre las dos técnicas y operación. (Opiyo, 2019)

Mayor eficiencia por menos conversiones de energía	CA
<ul style="list-style-type: none"> • Más modulares y escalables por ser más fácil conectar en paralelo • Componentes más compactos, sin depender de la frecuencia • Mayor capacidad de supervivencia cuando se somete a perturbaciones externas e internas • Arquitectura natural para integraciones, las fuentes de energía posee salidas CC. • La mayoría de las cargas modernas requieren una entrada de CC; incluso cargas CA como los motores de inducción se basan en una entrada de CC inherente • Disponibilidad, más confiable, debido a menos componentes electrónicos utilizados (sin inversores) [21] • La caída de los costes fotovoltaicos y baterías, aumenta las plataformas de pago por uso han creado un entorno inductivo para que las minirredes de CC prospere.[22] • Posibilitar de energía más limpia • Autonomía energética. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia a grandes distancias por menores corrientes, luego, menos pérdidas en la línea eléctrica • Tensiones CC no permite transformaciones, es decir, no funciona en transformadores de potencia. • Tecnología desarrollada de equipos y motores CA comercializados en salidas CA, como Lavadoras, microondas, HVAC, motor de inducción, etc. • Más estabilidad los valores de voltaje y frecuencia por regularse mediante control de potencia activa y reactiva centralizada • Comunicación inalámbrica es en CA.

Figura 23 - Comparación Sistemas CC versus CA

Para sistemas aislado suministrado con energías renovables, las cargas CA necesitan el inversor para conversión, lo que decae el desempeño del sistema instalado. Aunque presentamos algunas ventajas del sistema CC con relación al CA, estamos vinculados a aceptar el sistema centralizado de comercializadores de energía de gran amplitud que tuvieron que estructurarse para la gran escala, por esta razón las tasas a compensar la dispersión. Pero la inexistencia de posibilidades por la autosuficiencia por parte de los usuarios, conducirán a la dependencia de este sistema. La cuestión es que no todos están accesible a la electricidad centralizada y por esta razón se torna primordial crear alternativas a permitir el acceso de energía. Este proyecto pretende permitir que uno alcance su autosuficiencia con eficiencia y conciencia ambiental. Por esta razón y más valía al proyecto, se pretende comparar la energía usual residencial provida de la central energética en sistema CA y la energía autónoma residencial en sistema CC.

En este contexto, se empieza por comparar el consumo de energía eléctrica en CEDUCA para cargas en CA, como demostrado en la Figura 24.

SIMULADOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉCTRICA CC y CA

EQUIPO	Unid.	Equipos de salida VCC				Equipos de salida VCA			
		V (V)	P (W)	Ptotal (W)	Inversión Total (R\$)	V (V)	I (A)	Pt (W)	Inversión Total (R\$)
Aire acondicionado	3	24	9	7800	19.308,00	110	0,13	7800	4.200,00
Caldera eléctrico 50L	1	24	1000	1000	1.700,00	110	36,36	4000	1.700,00
Calentador de comida	2	12	19	38	204,80	110	0,55	120	179,80
Cargador de celular	8	5	10	80	-	110	0,14	120	-
Computadora	5	19	64,60	323	11.695,00	110	0,82	450	11.695,00
Frigorífico 210 L	1	24	72	72	4.300,00	110	0,82	90	1.500,00
Kit de enrutador inalámbrico	1	12	24	24	539,99	110	0,22	24	539,99
Lámpara LED 9W-450lm	60	12	9	540	420,00	110	0,18	1200	720,00
Licuadaora	1	12	90	90	323,98	110	1,82	200	100,00
Microonda	1	24	660	660	2.312,35	110	9,09	1000	500,00
Mini lavadora de 1 kg	2	5	6	12	209,80	110	2,00	440	159,80
Taladro	1	12	19	19	360,00	110	0,11	12	335,00
Televisión de 24 "	2	12	156	312	2.398,00	110	1,36	300	2.100,00
TOTAL	88	-	2129,6	10970	R\$ 43.771,92	-	53,59	15756	R\$ 23.729,59

Figura 24- Comparación Consumo CC y CA

Como base de comparativo del consumo eléctrico de cada equipo comercializado para sistemas CC y sistemas CA, se ha investigado equipos con especificaciones semejantes, equivalente a suprimir con la necesidad del centro en tensiones de 110 VCA, misma de la red eléctrica, además, ha tomado los costes de cada uno en el mercado, para comparativa económica. Resalta que el proyecto considera la adquisición de estos equipos.

Primeramente, observase distinciones del tamaño de la corriente trabajada. En sistemas CC de 12-24VCC tendrán valores de corrientes altas en que necesitará atención para las disposiciones del sistema híbrido implantado. No obstante, el consumo de potencia en sistemas CA suele ser mayores comercialmente para algunos de los equipos. El frigorífico de 240L por ejemplo, demanda 18W más con relación al equipo en sistema CC de salida de 24V. El hecho puede ser justificado por el compresor eléctrico de 110VCA exige un pico de energía más alto para la partida del motor, además, por considerar las pérdidas por conversiones. Actualmente ya dispone de frigorífico con salidas VCC en el mercado.

A pesar de eso, los equipos de salidas en VCC presentan mayores costes en relación con los equipos de salidas en VCA. Motivo comprendido por la ley de oferta y demanda del mercado. Todavía, aparatos en CC son de pocas demandas y carece de estudios para el desarrollo tecnológico a este fin, resultando el alto precio. Al

considerando la energía un costo, se necesita investigar la equivalencia y resultados con mayor eficiencia energética, económica y ambiental. En la Figura 25 está el comparativo de costo de la inversión de los muebles utilizados en CC y CA. Resulta en una diferencia próxima a 50 %, determinante por los precios del frigorífico y aire acondicionado

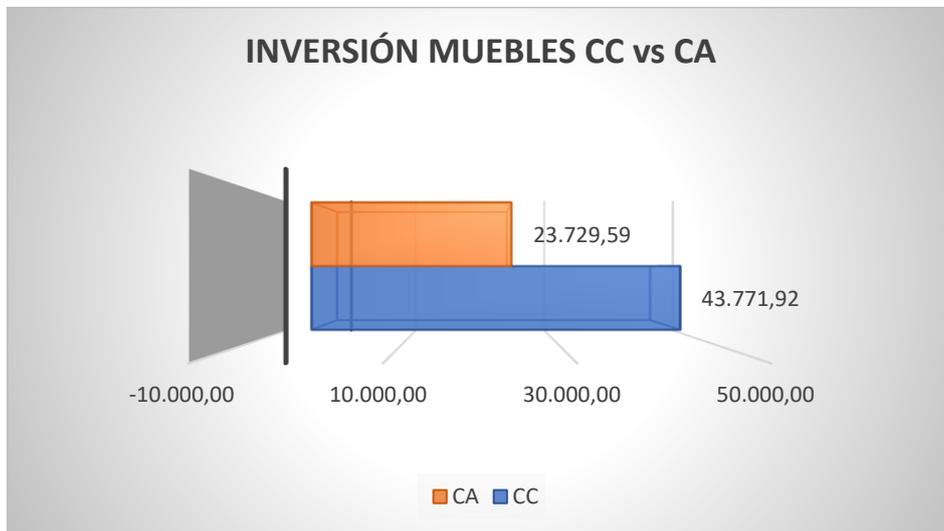


Figura 25 - Comparativo de costo de inversión de equipos utilizados en CC y CA.

4.1 Comparación Tecno-económico

El indicador importante a la evaluación de los dos sistemas CC y CA es el tecno-económico por brindar con el que gobierna el sistema, la economía. La diferencia entre los gastos de energía mensual de sistema CA centralizado y del sistema CC autónomo, ha evidenciado por las tarifas cobradas mensuales por las compañías energéticas y por el precio de la inversión inicial de energía instalada por la energía generada en el tiempo de vida del sistema. En la Tabla 17 están los dos costos de energía de la tarifa residencial, de la comercializado de energía del estado de Minas Gerais, CEMIG. [23] y los encargos pagos mensuales, la tarifa eléctrica residencial.

COSTO DE LA ENERGIA CC vs. CA (CEMIG, 2021)

TARIFA ELÉCTRICA CON ENCARGOS

		Costo
Energía CA sin tasas (R\$/kWh)	0,86046	R\$ 0,86
Iluminación Pública (R\$/kWh)	27,94	R\$ 0,37
Alícuota % ICMS	30,00%	R\$ 0,26
Alícuota % PASEP	0,77%	R\$ 0,00
Alícuota % COFINS	3,56%	R\$ 0,02
Valor total con tasas (R\$/kWh)		R\$ 1,51

Tabla 17- Valores de la energía cobrada en la Tarifas Eléctrica CEMIG

La tarifa eléctrica residencial alcanza una tasa adicional de 43% en relación con el precio de esta energía sin tasa. Además de la alícuota proporcional al consumo, existe tasas fijas como la iluminación Pública. Además, la empresa de energía eléctrica cálculo el precio de la energía a compensar las pérdidas, para desarrollo del sistema y la compensación a los usuarios que no poden pagar por la energía.

4.2 Estudio Socioambiental

EMISIONES EN CA

Los cálculos de las emisiones de CO2 asociadas al suministro eléctrico proviene de la red eléctrica peninsular, sin poder distinguir exactamente en qué planta de generación de electricidad se ha producido la electricidad importada. Por lo tanto, el Mix que refleje las emisiones de CO2 generadas cuentan con pérdidas de electricidad que se asocian al transporte y a la distribución.

5. SIMULACIÓN EN EL HOMER ENERGY

En el propósito de llevar el estudio más criterioso, realizará simulaciones en el programa HOMER que utilizará de las mismas informaciones descrito en las secciones

anteriores. Contemplará la curva de demanda eléctrica del CEDUCA para la simulación. Asimismo, se va a definir los recursos climatológicos, como la velocidad del viento y radiación solar incidente con el data del Centro de Referencia para as Energías Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) [7]. Los diferentes componentes de energía que se quieren contemplar en las combinaciones híbridas para cubrir la demanda energética del Centro son la energía solar fotovoltaica, la energía eólica y las baterías utilizando el bus CC y sin conexión a la red suministradora de electricidad. Para lograr eso, se van a definir todos los equipos de generación y almacenamiento detallados anteriormente. Resalta que el sistema CC no contiene el componente conversor y el controlador de carga MPPT está incluido en los datos introducidos de la planta fotovoltaica. El Aerogenerador NOTUS 138 introducido en el HOMER posee el controlador de carga inherente al conjunto del equipo.

5.2. Datos inseridos

En el seguimiento, se va a introducir las variables de entrada en el HOMER Energy, como la potencia instalada del CEDUCA, disponibilidad de recursos, límites y condiciones de operación y costos iniciales, costos de reemplazo y costos de operación y mantenimiento del sistema. Ajustara todos estos valores con los datos descripto en secciones anteriores para equiparar las simulaciones.

Las simulaciones en HOMER diferencia de la simulación calcula en este trabajo por su optimización de los resultados obtenidos de simulaciones de las 8760 horas del año, presentando el potencial de recursos renovable de la región, la energía eléctrica generada por los componentes a cada hora del año. Conjuntamente, modela la proporción de los costes de inversión y electricidad a cada situación requerida. El HOMER identifica el sistema de mínimo costo por energía generada de un conjunto de alternativas posibles, simulando el comportamiento horario del sistema a lo largo de 365 días del año y ordenando las soluciones crecientemente con el costo de la electricidad COE (Cost of electricity). Tras la simulación, optimización y análisis de sensibilidad realizada por el HOMER se procederá a la selección de la mejor alternativa. En la Figura 26 - Arquitectura de la simulación de HOMER Energy ilustra el esquema de conexión CC configurado a los componentes renovables utilizados para la simulación.

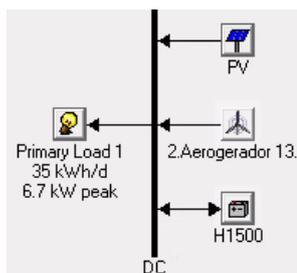
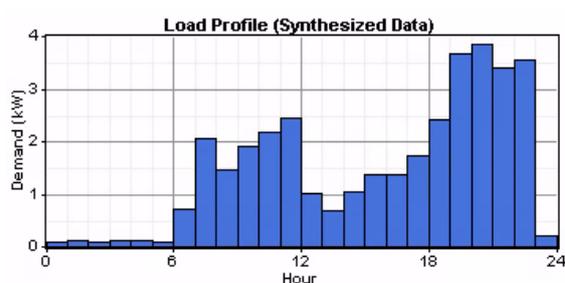


Figura 26 - Arquitectura de la simulación de HOMER Energy

El sistema de generación introducido en el HOMER consta de una planta de paneles fotovoltaicos de 1 kW, un aerogenerador de 1,2kW y baterías de almacenamiento de 1500Ah de capacidad. El tamaño del sistema que sugiere HOMER después de la simulación se basa en las entradas definidas al principio y las carga del CEDUCA de 6,7 kW pico de demanda y consumo diario de 35kWh distribuidos a las 24 horas del día, así ilustrado en la Figura 27 - Promedio de la demanda diaria y mensual.



Carga CC: Carga primaria 1	
Fuente de datos:	Sintética
Ruido diario:	15%
ruido por hora:	20%
Promedio anual escalado:	34.5 kWh/d
Carga máxima escalada:	6.74 kW
Factor de carga:	0.213
Vida útil de la eficiencia:	25

Figura 27 - Promedio de la demanda diaria y mensual

- Climatología

Se introdujeron datos sobre recursos eólicos y fotovoltaicos, como velocidad media diaria del viento para cada mes, la altitud de 10 m, la irradiación diaria promedio para cada mes y luego, los parámetros de los componentes, fotovoltaica, eólica y baterías. En la Figura 28 presenta el potencial de los recursos eólicos y solares en cada mes.

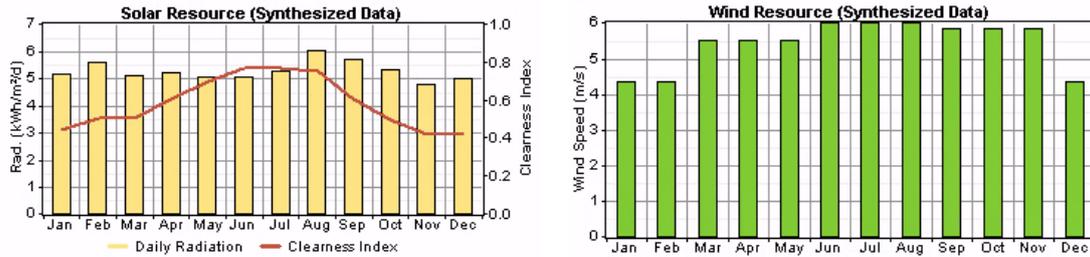


Figura 28 presenta el potencial de los recursos eólicos y solares en cada mes.

Se obtiene el promedio anual de 5,27 kWh/m2/d de los recursos solares. Mientras los recursos eólicos, ha logrado una velocidad promedio de 5,42 m/s. El costo inicial, O&M y los parámetros de reemplazo introducidos son los presentado en la Tabla 18 - Costos iniciales, de reemplazo y de operación y mantenimiento de los componentes.

- Selección y descripción de componentes

Componentes	Costo inicial	Costo de reemplazo	Costo C&M
Planta Fotovoltaica (1kW)	\$ 850,00	\$ 600,00	\$ 8,50 (1% del coste inicial)
Aerogenerador NT-138 (1 unidad)	\$ 2.200,00	\$ 1.500,00	\$ 44,00 (2% del coste inicial)
Baterías OPzS1500 (1 unidad)	\$ 500,00	\$ 350,00	\$ 5,00 (1% del coste inicial)

Tabla 18 - Costos iniciales, de reemplazo y de operación y mantenimiento de los componentes

Para el HOMER Energy cada 1kW de PV instalado cuesta \$ 850 que incluye los precios relacionados con el envío, la instalación y el controlador de carga MPPT. El coste de operación y mantenimiento será de \$ 8.5/año, que es el 1% del capital inicial. Para los aerogeneradores y baterías contará con 2% e 1% respectivamente de los gastos anuales C&M. Para los costes de reposición se considerará la compensación por la depreciación del precio de los equipos a proyecciones futuras.

5.3. Resultados colectados

Después de ingresar los datos de entrada de acuerdo con las especificaciones del programa, se ejecutó las simulaciones en el HOMER que ha posibilitado diferentes

disposiciones de las cuales se podrá mejorar la solución obtenida mediante el análisis de sensibilidad, por lo tanto, la ventaja en el uso de este programa. En este proyecto enfocará en las variables económicas para satisfacerse en el orden de menor costo y el análisis de sensibilidad del sistema utilizará valores de 6, 5, 3, 1 % de tasas de interés para modelaje. Estas definiciones permiten evaluar condiciones de beneficios y viabilidad económicas, incluso para países en desarrollo, que posee de alta volatilidad de estas tasas, como el caso de Brasil. El escenario de la tasa de interés de 1% resulta valores significativos en relación con la tasa de 6% para los costes de electricidad y el NPC total. En la simulación obtiene un acrecimiento de 29 % del coste de electricidad y una reducción de 18% del NPC total, el valor actual neto. La Figura 29 - Valores para la evaluación de la sensibilidad del sistema muestra estos datos.

The image shows two screenshots of the HOMER software interface. The top screenshot shows the Interest Rate (%) set to 1, and the bottom screenshot shows it set to 6. Both screenshots show a table of simulation results for two different system configurations. Blue arrows point to the Total NPC column, and orange arrows point to the COE column.

			Interest Rate (%)	OR Solar (%)	OR Wind (%)							
			1	100	100	Double click on a system below for simulation results.						
Icon 1	Icon 2	Icon 3	PV (kW)	NT-B	H1500	Efficiency Measures	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf. (yr)
			15		24	No	\$ 24,750	584	\$ 37,606	0.136	1.00	19.6
			15	2	18	No	\$ 26,150	867	\$ 45,253	0.163	1.00	17.9

			Interest Rate (%)	OR Solar (%)	OR Wind (%)							
			6	100	100	Double click on a system below for simulation results.						
Icon 1	Icon 2	Icon 3	PV (kW)	NT-B	H1500	Efficiency Measures	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf. (yr)
			15		24	No	\$ 24,750	585	\$ 32,227	0.200	1.00	19.6
			15	2	18	No	\$ 26,150	862	\$ 37,163	0.231	1.00	17.9

Figura 29 - Valores para la evaluación de la sensibilidad del sistema

Se utilizará la tasa de interés de 3%, el intermedio de estos valores, para análisis y determinación del modelaje de los componentes para este proyecto.

Una vez simulado, el sistema es capaz de satisfacer el consumo de 35 kWh/d con varias soluciones combinadas, donde observa la inversión inicial y costo operativo por año, que también son decisivos en la elección de la mejor solución para el proyecto. En la Figura 30 muestra los dos mejores resultados evaluados por el HOMER. La primera opción, el menor costo inicial y COE (Coste de la energía) utilizando apenas el sistema fotovoltaico y la segunda con los costes más altos, sin embargo, con la aportación de la

energía eólica. Como criterio del proyecto en posibilitar la flexibilidad del sistema y utilizar sistemas híbridos renovables con la mejor condición económica, la segunda opción satisface estos requisitos, aunque representa un costo más elevado. El coste de electricidad elevada es comprendido por el sistema aislado compensar por las baterías de alto costo de adquisición. No obstante, este proyecto podrá ser amortizado con los costes de ingreso por el CEDUCA, tornando el proyecto más viable todavía.

Interest Rate (%) 3 OR Solar (%) 100 OR Wind (%) 100

Double click on a system below for simulation results.

	PV (kW)	NT-B	H1500	Efficiency Measures	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf. (yr)
	15		24	No	\$ 24,750	595	\$ 35,116	0.160	1.00	19.6
	15	2	18	No	\$ 26,150	878	\$ 41,447	0.189	1.00	17.9

Figura 30 – Resultados Optimizados de la simulación HOMER

En la Figura 31 resume los valores actual neto obtenido de la simulación elegida. Los resultados evidencian la viabilidad del proyecto. El coste total de inversión es \$ 26.150 mientras el sistema dispone de un total de valor actual neto de \$ 40.273 en 25 años de vida de proyecto.

Net Present Costs

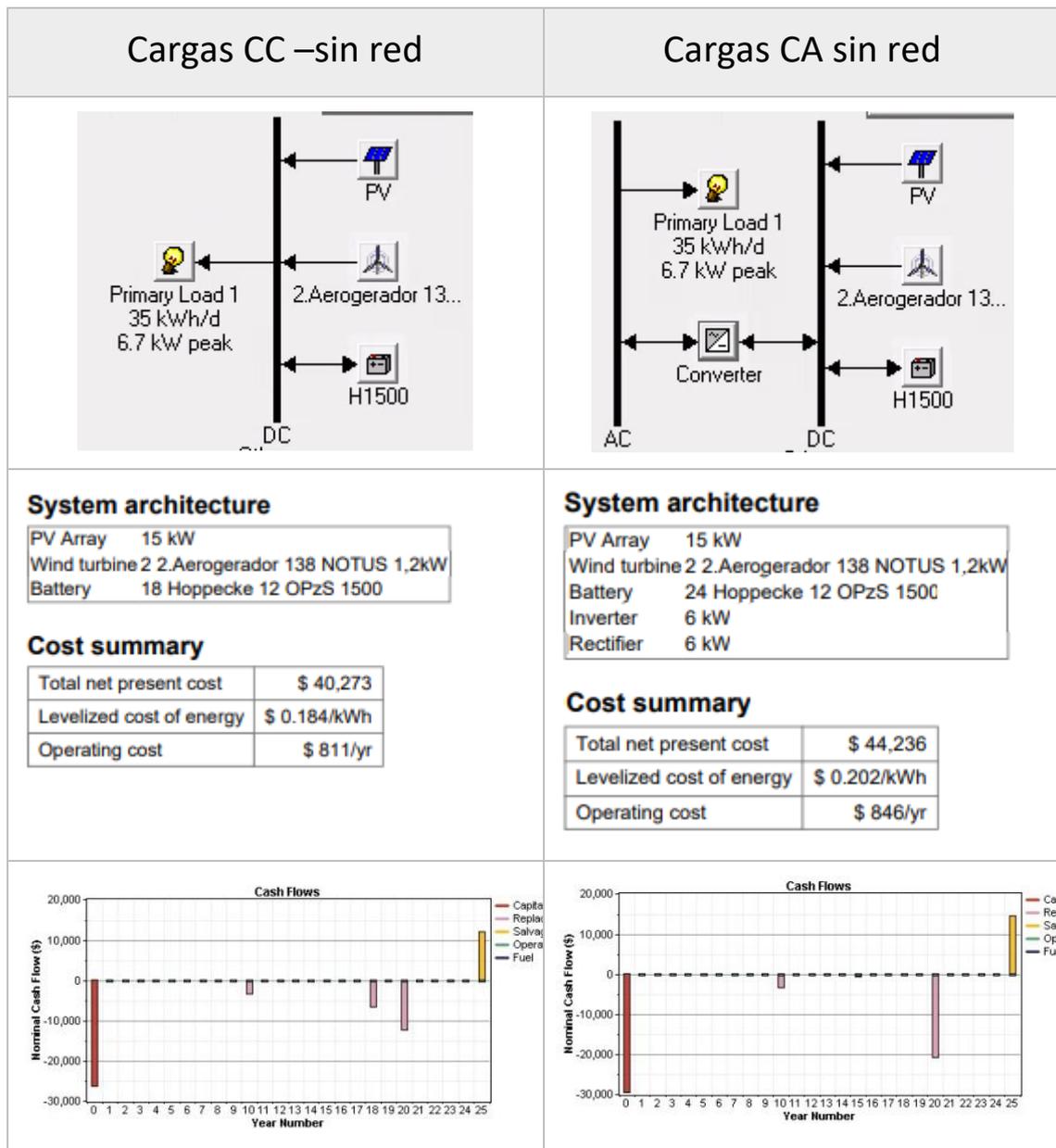
Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	12,750	4,983	2,220	0	-3,224	16,729
2.Aerogenerator 138 NOTUS 1,2kW	4,400	3,893	1,532	0	-716	9,109
Hoppecke 12 OPzS 1500	9,000	3,709	1,567	0	-1,821	12,455
Other	0	0	1,979	0	0	1,979
System	26,150	12,585	7,299	0	-5,761	40,273

Figura 31 – NPC Generado por la simulación HOMER

- Comparación Simulaciones HOMER CC x CA

Con el propósito de aumentar la confiabilidad en la evaluación de la electrificación en corriente continua y auxiliar en la tomada de decisión, se ha reconfigurado el sistema HOMER para suministra en corriente continua fuera de la red.

Todos los datos de entrada se han mantenido igualmente y condicionado la demanda de carga para CA, además, de añadir el convertor de 6 kW, con los costes de inversión, remplazamiento, y O&M de \$ 350, \$300, \$ 4 respectivamente. Está configurado para una eficiencia de 90%, caso más crítico y 15 años de vida. De esta manera se ha comparado las dos simulaciones. En la Figura 32 están los resultados de las dos operaciones.



Load	Consumption (kWh/yr)	Fraction
DC primary load	12,593	100%
Total	12,593	100%

Quantity	Value	Units
Excess electricity	18,170	kWh/yr
Unmet load	0.00	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	1.000	

Load	Consumption (kWh/yr)	Fraction
AC primary load	12,591	100%
Total	12,591	100%

Quantity	Value	Units
Excess electricity	16,659	kWh/yr
Unmet load	1.92	kWh/yr
Capacity shortage	9.37	kWh/yr
Renewable fraction	1.000	

Battery

Quantity	Value
String size	1
Strings in parallel	18
Batteries	18
Bus voltage (V)	2

Quantity	Value	Units
Nominal capacity	54.0	kWh
Usable nominal capacity	37.8	kWh
Autonomy	26.3	hr
Lifetime throughput	92,448	kWh
Battery wear cost	0.073	\$/kWh
Average energy cost	0.000	\$/kWh

Battery

Quantity	Value
String size	1
Strings in parallel	24
Batteries	24
Bus voltage (V)	2

Quantity	Value	Units
Nominal capacity	72.0	kWh
Usable nominal capacity	50.4	kWh
Autonomy	35.1	hr
Lifetime throughput	123,264	kWh
Battery wear cost	0.073	\$/kWh
Average energy cost	0.000	\$/kWh

	CC	CA	Comparación	
Energía entrada kWh / año	5,54	6,41	0,87	14%
Energía salida kWh / año	4,78	5,54	0,76	14%
Agotamiento almacenamiento kWh / año	16,70	24,50	7,80	32%
Pérdidas kWh / año	740,00	846,00	106,00	13%
Rendimiento anual kWh / año	5,16	5,98	0,82	14%
Vida esperada año	17,90	20,00	2,10	11%
Coste Total(\$/año)	715,00	903,00	188,00	21%

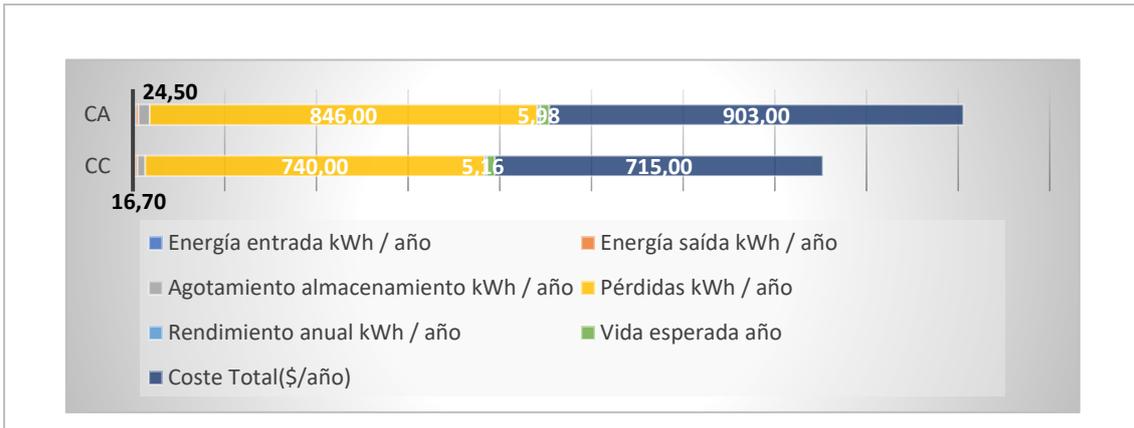


Figura 32 - Comparativo Simulación CC y CA

Como base comparativo ha considerado los dos sistemas fuera de la red, por reducir las probabilidades diversas y enfocar en la evaluación técnica y económica del uso habitual de suministro CA con la propuesta del trabajo de suministro en CC.

Observase en la Figura 32 diferencias más propiamente por el incremento del convertidor CA/CC, además, no ha considerado la diferencia de consumo entre las cargas CA y CC. Conforme retratado en la sección anterior de este trabajo, las cargas en CA requieren mayor consumo de energía que las cargas CC. A este caso específico se evalúan las condiciones técnicas económicas de las instalaciones, sin considerar los costes de adquisición de los muebles.

El efecto del convertidor CA/CC en la simulación se destaca en el coste de la electricidad (COE) y los valores actuales neto del proyecto. El incremento del precio de

la electricidad fue de 9%, 0.018 \$/kWh, juntamente con la reducción de \$ 3.963 del valor actual neto.

Cuanto, al sistema de almacenamiento, utilizará 6 baterías a más en el sistema CA en relación con el sistema CC, evidentemente la capacidad nominal utilizable es mayor. El HOMER considera la necesidad de mayor almacenamiento por las baterías en el suministro CA que lo podrá justificar debido al consumo adicional del convertidor a lo largo de los 25 años de proyecto.

5.4. Comparativo Simulación Calculada Y Sistema HOMER

El objetivo de estudiar dos tipos de simulaciones en este trabajo se debe el facto de posibilitar alcanzar cualquier proyecto deseado sin costos y de fácil entendimiento. El CEDUCA vincula proyectos sociales con tecnologías sostenible y independientes. De la misma forma, referenciar el modelo con el programa HOMER, contribuirá para mejores análisis y decisiones. En la Tabla 19 - Comparativo simulación calculada y Sistema HOMER presenta el resume de los resultados simulados por los cálculos ejecutados y por el sistema HOMER.

La primera notable diferencia entre las dos simulaciones es el coste de inversión total del proyecto, con un contraste de € 47.928 que se explica por algunas razones. En la simulación - cálculos, la demanda cubierta por las baterías es de 4 días de autonomía, mientras en el HOMER ha encontrado 1 día de autonomía. Por lo tanto, la mayor aportación por el sistema de almacenamiento acrece el coste, principalmente porque son los componentes de más elevado precio. El sistema HOMER combina algoritmos con mayores posibilidades de respuestas y luego, más precisión. Los valores mensurados aproximan de la real necesidad de consumo, asociando a la disposición de los recursos solar/eólico en las 8760 horas del año.

	Simulación - cálculos	HOMER
	Sistema PV / Aerogenerador / Batería	
Modelaje PV (unidad)	24	15
Modelaje Aerogenerador (unidad)	5	2
Modelaje Batería (unidad)	24	18
Costes inversión Total (€)	€ 79.058,97	€ 31.130,95
NPV	€ 56.474,91	€ 49.341,67
Energía generada total del Sistema (kWh/año)	18710,67	31519,00
Energía generada PV (kWh/año)	11600,62	28135,00
Energía generada Aerogenerador (kWh/año)	7110,05	3385,00
Autonomía baterías (días)	4	1

Otra razón es el coste del remplazo de los componentes inseridos en el sistema HOMER y no considerado en la simulación - cálculos. La diferencia de modelaje interfiere a los resultados finales. En el HOMER dispone de 89% sistema PV y 11% Aerogenerador y en la simulación - cálculos, 62% paneles 38 % aerogenerador. Sabiendo que la viabilidad del coste por energía producida es mayor en los sistemas PV, tener un mayor modelaje de PV, reduce el coste. A partir de estos análisis, se permite remodelar las aportaciones de las tecnologías al sistema del simulación - con cálculos.

Tomando como referencia los resultados obtenidos del HOMER, podrá interpretar una subestimación de dimensionamiento en la simulación – cálculos debido al acrecimos de las baterías. Son situaciones pensadas en evitar cualquier falta de energía, es decir, garantizar que el sistema híbrido dimensionado cumplirá con el objetivo, mismo considerando el alto coste. Son los retos de sistemas de energías renovables aislada. Igualmente, sistema con mayor amplitud de almacenamiento reduce instabilidades y picos en el circuito, extendiendo el tiempo de vida del equipo/proyecto.

Por el proyecto contar con actividades multidisciplinarias, distintos proyectos y gran flexibilidad de ocupación, se puede esperar una ampliación del sistema energético. Por eso, la simulación - cálculos representa un modelaje factible a las necesidades y condiciones del local.

6. ESTUDIO DE CASO SISTEMA DE COGENERACIÓN

En esta sección se pretende ampliar las posibilidades de generación de energía a partir del estudio de las nuevas tecnologías energéticas solares, concentradores solares - CSP, a apropiarse a las condiciones del proyecto. En el seguimiento, será abordado datos y cálculos del dimensionamiento del sistema de cogeneración, de lo cual consiste en la integración de la tecnología CSP, de pequeño porte, con la Cocina de leña, ya proyectada por el Centro de Educación Ambiental. De esta forma, investigará la fiabilidad energética en el contexto técnico-económico y socioambiental a fin de proponer un real proyecto experimental en el campo.

6.2. Implementación del Sistema de cogeneración en el sistema CC

Como todo sistema de cogeneración que reutiliza las energías no útiles, en el primero proceso, al aprovechamiento para generar energía conveniente al sistema, el CEDUCA estudiará la implantación de dos fuentes de combustible, el sol y la leña para conjuntamente generar energía eléctrica y térmica. La intención es contribuir para el sistema híbrido descrito anteriormente. De esta manera, el sistema de cogeneración poseerá de dos circuitos integrados, la cocina de leña y la tecnología CSP Dish que aportarán energía adicional al sistema y permitiendo mayor seguridad y amplitud al proyecto estudiado. La representación en la Figura 33 - esquema de comunicación propuesto para el proyecto. ilustra el esquema de comunicación propuesto para el proyecto.

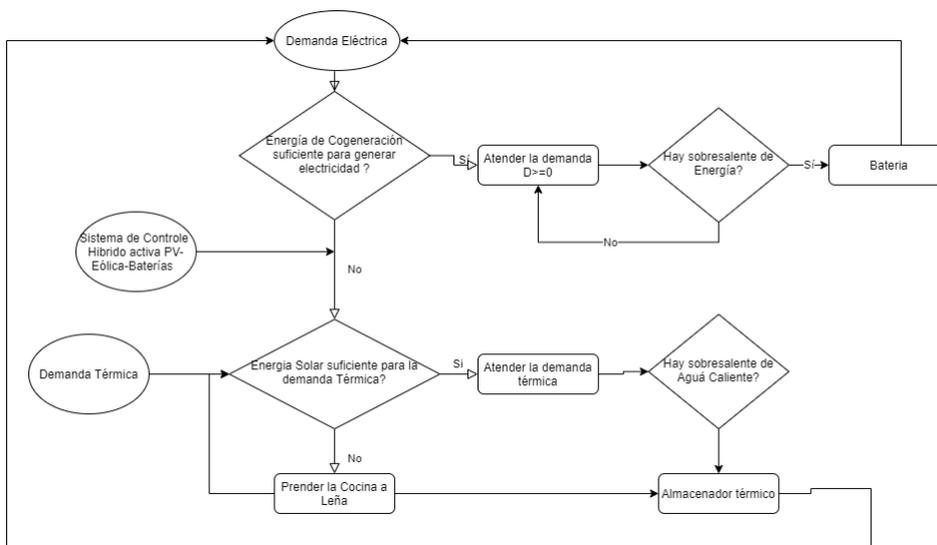


Figura 33 - esquema de comunicación propuesto para el proyecto.

6.3. Dimensionamiento del Sistema de cogeneración

Se decide dimensionar primeramente la cocina de leña por su limitación estructural y operacional, aunque lo puede tener flexible su utilización. A partir del diseño de la cocina de leña con los respectivos cálculos termodinámicos, es posible encontrar la energía útil entregada para el sistema. Luego sigue el estudio de las pérdidas térmicas hasta el generador eléctrico.

En proceso sigue con la investigación del motor Stirling para demanda de proyectos residenciales, a medias potencias nominales y temperaturas bajas, apropiado al local y con disponibilidad en el mercado. La tecnología CSP es dimensionada posteriormente a fin de adecuar las condiciones del motor seleccionado, una vez que si

puede ampliar por su número de concentradores instalados. En las siguientes secciones será presentado más detalles de estos sistemas.

6.3.1. Cocina de leña

El CEDUCA proyecta una estructura sostenible en todo su ámbito de operación. A esta propuesta se decide el uso de la cocina de leña por su autonomía energética, una vez que el local dispone de gran cantidad de leña, impacta en la menor dependencia económica y sistémica, además, mitiga el impacto ambiental y social. Para la mejor eficiencia de diseño de la cocina de leña, tendrá la referencia el estudio de evaluación de cocinas mejoradas de la Universidad Nacional de ingeniería, Perú (Fuertes & Fuertes, s.f.). La Figura 34 está simbolizado el diseño y las medidas constructivas para el estudio.

Diseño Cocina de Leña del CEDUCA

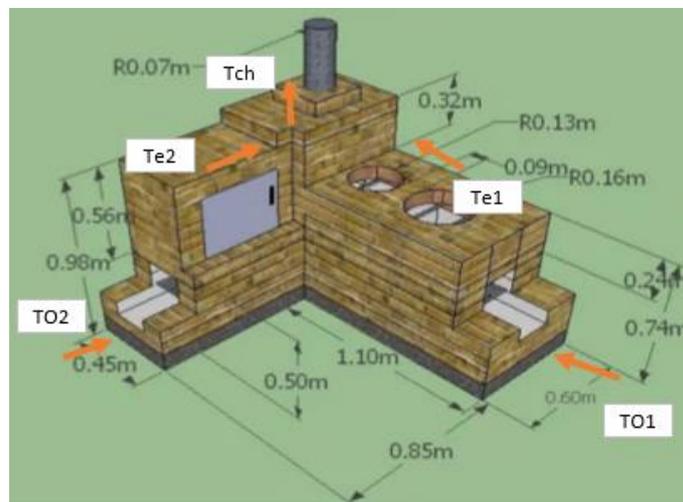


Figura 34 - Diseño y las medidas constructivas (Fuertes & Fuertes, s.f.) - adaptado.

Conocer los materiales de construcción permitirá el desarrollo de los cálculos termodinámicos para la evaluación del proyecto. La cocina de leña será de ladrillos crudo revestido de adobe, con dos entradas de leña, el horno empotrado, dos hornillas y la chimenea galvanizada toda revestida de adobe que garante la eficiencia energética. Como referido anteriormente, el adobe tiene alta inercia térmica, es el motivo por utilizar también en la chimenea. La Tabla 20 - Especificación constructiva y operacional de la cocina de leña CEDUCA.. muestra la especificación constructiva y operacional de la cocina de leña de este trabajo.

			Entrada 1	Entrada 2
Cocina revestida por adobe Operación: 3 veces/día - 1Kg/h	Temperatura inicial (°C)	To	14,70	14,20
	Temperatura entrada Chimenea (°C)	Te	88,00	44,90
	Energía útil (Wh)	Eu	426,20	178,50
	Energía útil total (Wh)	Eut	604,70	
	Energía interna (Wh)	Ei	3500	
	Masa leña (kg)	m	7,44	
	Tiempo operacional diario (h)	t	3	
Rendimiento cocina (%)	n	17%		

Tabla 20 - Especificación constructiva y operacional de la cocina de leña CEDUCA.

Los datos de la Tabla 21 son estimados para el consumo medio de 8 personas diario. Para el conocimiento de la energía útil (Eu) generado por la cocina de leña está representado en la Ecuación 13. Se utilizará el promedio para la potencia calorífica de valor 40kCal/hora por m3.

$$Eu = Pt * m * t * n$$

Ecuación 14

Donde,

Pt: Potencia térmica (Promedio), Kcal/h/m3

m: masa de la leña utilizada, kg

t: tiempo de operación

n: rendimiento de la cocina

Para los cálculos de cantidad de leña, tiempo y eficiencia se utiliza el agua como referencia de medida, lo que se requiere para llegar a la temperatura de ebullición. La eficiencia de la cocina calculase en relación con la conservación de energía útil e incidente sobre la olla y las pérdidas de energía serán despreciadas [14].

- Chimenea

La dimensión para la camada de revestimiento de la chimenea para mantener el calor utilizará el adobe como referencia, con 30 cm de espesura. Igualmente, a la hora de insuficiencia energía para generar energía, la cocina de leña con la chimenea revestida auxilia en la climatización del ambiente.

La temperatura entrada Chimenea (T_e) será la suma de las dos entradas, totalizando a 132 °C. En la Tabla 21 – Especificación de la Chimenea muestra la especificación de la chimenea utilizada para la cocina de leña. La producción de vapor encontrado

ESPECIFICACIÓN CHIMENEA		
Chimenea galvanizado-revestido en adobe	Caloría para 1kg de vapor (kcal/kg)	620,00
	Producción de vapor (kg)	8,29
	Longitud (m)	3,00
	Diámetro acero (m)	0,15
	Diámetro adobe (m)	0.35

Tabla 21 – Especificación de la Chimenea

6.3.2. Colector concentrador solar - CSP Dish -

La energía solar térmica concentrada, internacionalmente conocida como CSP (Concentrating Solar Power) genera energía eléctrica y térmica mediante la concentración radiación solar directa. Por las determinantes de pequeña escala, es decir, baja potencia nominal a pequeña área instalada con mayor rendimiento energético y bajo costo, será elegido el estudio del concentrador solar de disco parabólico (Dish) que posee un potencial mayor a estas características en comparación a otras tecnologías.

La planta CSP en CEDUCA, constará con el dimensionamiento integrado de dos partes: el colector térmico y el motor Stirling del ciclo de energía. Los espejos enfocan los rayos del sol en el foco que circula un fluido de trabajo, en este trabajo utilizaremos el agua, que se calienta con el calor de la concentración. En el ciclo de potencia, este fluido transformado en vapor se expande el pistón del Motor Stirling.

El colector concentra los rayos solares para calentar el fluido de trabajo, que circula en el receptor. La relación de concentración es determinada por la relación entre la apertura del colector y el área de absorción del receptor. Cuanto mayor sea la relación de concentración, mayores serán las temperaturas del agua. El calentamiento solar de agua en aplicaciones domésticas, como en el caso del proyecto, funcionará con un solo receptor. Con esta tecnología pretende alcanzar temperaturas mayores a 100°C dependiendo de la irradiación solar real, por eso la importancia de un diseño eficiente a evitar pérdidas en el sistema. En la Tabla 22 está descripto las especificaciones del CSP utilizado en el estudio.

ESPECIFICACIÓN DEL CONCENTRADOR	
Tipo / forma Concentrador Solar	Dish / Parabólica
Eficiencia óptica	97%
Material concentrador	Poliméricos y no metálicos
irradiación Solar	913,5 Wh/m ²
Dc diámetro /unid	1,7 m
área de superficie /unid	4 m ²
Número de C. parabólico	2 unidades
Precio/unid	R\$ 365
Precio total	R\$ 730

Tabla 22 - Especificaciones del CSP utilizado en el proyecto.

- Disco parabólico

Los discos parabólicos poseen la geométrica que enfoca puntualmente el mayor grado de concentración y temperatura de operación en el foco potencializando la generación de energía, razones por lo cual ha sido seleccionado. A fin de lograr la mejor performance de estos discos, será calculado la distancia focal y la profundidad del concentrador a partir de cálculos representados por las Ecuación 15 e Ecuación 16.

$$f = \frac{Dc}{4 \tan\left(\frac{\phi r}{2}\right)}$$

Ecuación 15

$$h = \frac{Dc^2}{16f}$$

Ecuación 16

Mediante los cálculos realizados, considerando el Diámetro (Dc) equivalente a una parábola de satélite comercializada de 1,7 metros y el ángulo del aro de 45°, como diseñado por fabricantes y estudiosos con resultados de maximización del índice de concentración y rendimiento energético más eficiente (Zayed et al., 2020), se logra los valores presentados en la Tabla 23 – Distancia Focal del concentrador.

Distancia focal del concentrador		
f distancia focal	0,76	m
h la profundidad del concentrador solar	0,14	m

Tabla 23 – Distancia Focal del concentrador

En este trabajo se planificará el modo de sistema central, de lo cual un conjunto de dos discos parabólicos está conectado por la tubería y genera electricidad de manera centralizada en el único motor Stirling. Se ubicará en la parte exterior del colector, como demuestra en la Figura 35. Este diseño diseña la menor distancia entre la energía solar transmitida y el motor, por reducir pérdidas del sistema. (UTILIZAR EL SAM ¿?)

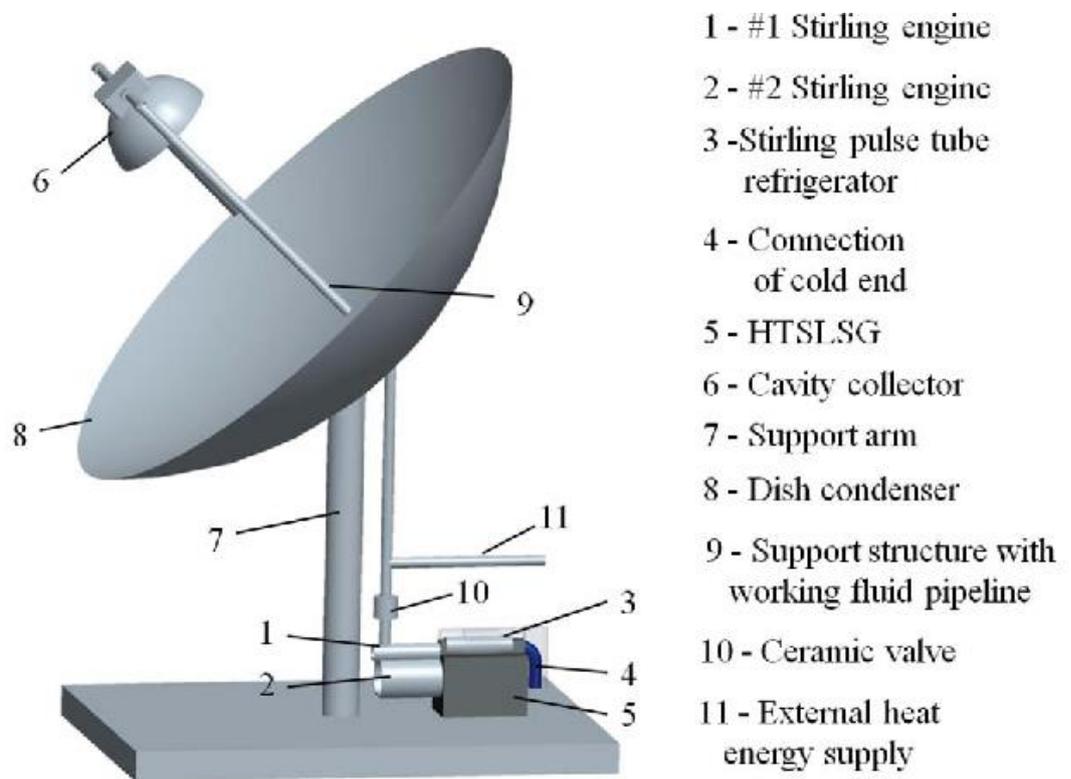


Figura 35 - Demostración CSP con el motor Stirling

Datos de entrada

η óptico	45%
I-irradiancia solar (W/m ²)	913,50
C-tasa de concentración media	326,96
A-área del receptor m ²	0,03
Absorbancia α	0,97

ϕ_r (Ángulo de la llanta) °	45,00
ϵ -emisividad máxima	0,9
T_H °C	60
σ (Wm ⁻² *K ⁻⁴)	5,6697E-08

Tabla 24

Receptor

El receptor se instala en la línea de enfoque de los concentradores y su superficie está proyectada por un recubrimiento de alta absorbanza, 97% a la irradiación solar y baja emitancia a la irradiación térmica. Por eso, el diseño contará con una cubierta de vidrio alrededor del receptor para reducir las pérdidas por convección, además, se pretende mantener un vacío en el espacio entre el vidrio y el tubo receptor (CRESESB, 2014). Para conocer el diámetro ideal del receptor para este proyecto será utilizado la ecuación X para esta determinación y los resultados en la Tabla 25.

$$dr = \frac{f * \theta}{\cos(\phi_r)\cos(1 + \phi_r)}$$

Diámetro del receptor		
dr	0,19	m
ángulo de aceptación del concentrador (q)	0,3	°
Eficiencia		
Ar-área de apertura del receptor	0,03	m ²

Tabla 25 – Diámetro del Concentrador

- Almacenador térmico

A fin de garantizar un funcionamiento más eficiente y fiable del sistema de cogeneración, sugiere se la inclusión del almacenamiento térmico localizado internamente en la cocina de leña. De esta forma, la cogeneración permitirá reducir tus perdidas al mantener una mayor inercia térmica.

Eficiencia máxima η

La eficiencia máxima para sistemas termodinámicos solares es deducida considerando las propiedades de irradiación solar que será convertida en calor por el receptor que posee una eficiencia calculada por la Ecuación 17y el segundo principio termodinámico de Carnot.

$$\eta \text{ máxima} = \eta_{\text{receptor}} * \eta_{\text{carnot}}$$

Ecuación 17

De lo cual se podrá encontrar la eficiencia de receptor por la siguiente Ecuación 18

$$\eta_{\text{receptor}} = \frac{Q_{\text{absorbida}} - Q_{\text{perdida}}}{Q_{\text{solar}}}$$

Ecuación 18

Donde,

Q solar: el flujo solar entrante

Q absorbido: el flujo absorbido del receptor

Q perdida: el flujo perdido

A fin de determinar el ciclo de potencia del sistema CSP del trabajo, tomará las Ecuación 19 e Ecuación 20 para los correspondidos cálculos,

$$Q_{\text{solar}} = \eta_{\text{óptica}} * I * C * A$$

Ecuación 19

$$Q_{\text{absorbida}} = \alpha * Q_{\text{solar}}$$

Ecuación 20

Donde,

I: Irradiación solar, de valor promedio 913.50 W/m² (PVGIS, 2019),

C: Tasa de concentración, 326,96,

$\eta_{\text{óptica}}$: Eficiencia de los sistemas ópticos, 45% [17(Bezerra et al., 2018)],

Área de la apertura del receptor, 0,03 m²

α : Absorbancia, 97% (CRESESB, 2014),

Mientras, la pérdida de calor de las superficies a altas temperaturas se debe únicamente a la radiación, el cálculo resultante presenta en la Ecuación 21 En este cálculo utilizará la ley de Stefan-Boltzmann, σ (5.67E-8 W/m²*K⁴):

$$Q_{\text{perdidas}} = A\varepsilon\sigma T_H^4$$

Ecuación 21

Donde,

ε : Emisividad

T_H : Temperatura óptima.

En la Tabla 26 muestra los valores encontrados del ciclo de potencia y la eficiencia máxima del sistema, considerando la absorbancia de 97%, referente al modelo del concentrador parabólico de la empresa *Industrial Solar Technology* (IST).

Ciclo de Potencia	
Q perdida radiación (W)	0,02
Q absorbida (W)	3620,39
Q solar (W)	3732,36
η máxima sistema	97%

Tabla 26 – Ciclo de Potencia

El diseño CSP está reconfigurado partiendo del modelo Dish Stirling Solar Cogeneration Trinum para las condiciones del CEDUCA. Se ha despreciado otros tipos de perdidas en este sistema de lo cual necesita estudios más específicos y que en este trabajo enfoca el contexto más amplio con el propósito de presentar la alternativa como opción de complementar y mejorar la eficiencia del sistema eléctrico y térmico del CEDUCA.

CSP vs PV

Sabiendo que las tecnologías de concentración solar generan energía por la radiación solar directa únicamente, es decir, no son capaces de transformar la radiación solar difusa en calor, lo que se puede conseguir en paneles fotovoltaicos. Por tanto, el CSP no genera electricidad con el cielo nublado. Para seguir el movimiento del sol, el colector solar concentrado debe seguirse a lo largo de uno o dos ejes. El seguimiento es más complejo utilizando dos ejes, pero por lo tanto se obtiene una tasa de concentración más alta y, por lo tanto, temperaturas más altas. Actualmente existen técnicas y estudios para esta aplicación de pequeña escala. (CRESESB, 2014)

6.3.3. Motor Stirling

El motor Stirling seleccionado contempla características que satisface las especificaciones deseadas para el sistema de potencia de la cogeneración. Semejando a la máquina térmica de circuito cerrado, el motor Stirling utiliza gases atmosféricos como fluido de trabajo y obtiene energía por fuentes de calor externa, como la leña y la luz solar utilizados en este trabajo. En teoría, el motor Stirling es el motor térmico con mayor eficiencia energética y con más frecuencia, aumenta las investigaciones para su mejor performance. En este proyecto, su aplicación incluye la generación de energía eléctrica del sistema de cogeneración. En la Figura 36 muestra las ventajas, desventajas, oportunidades y amenazas del motor Stirling en este proyecto.

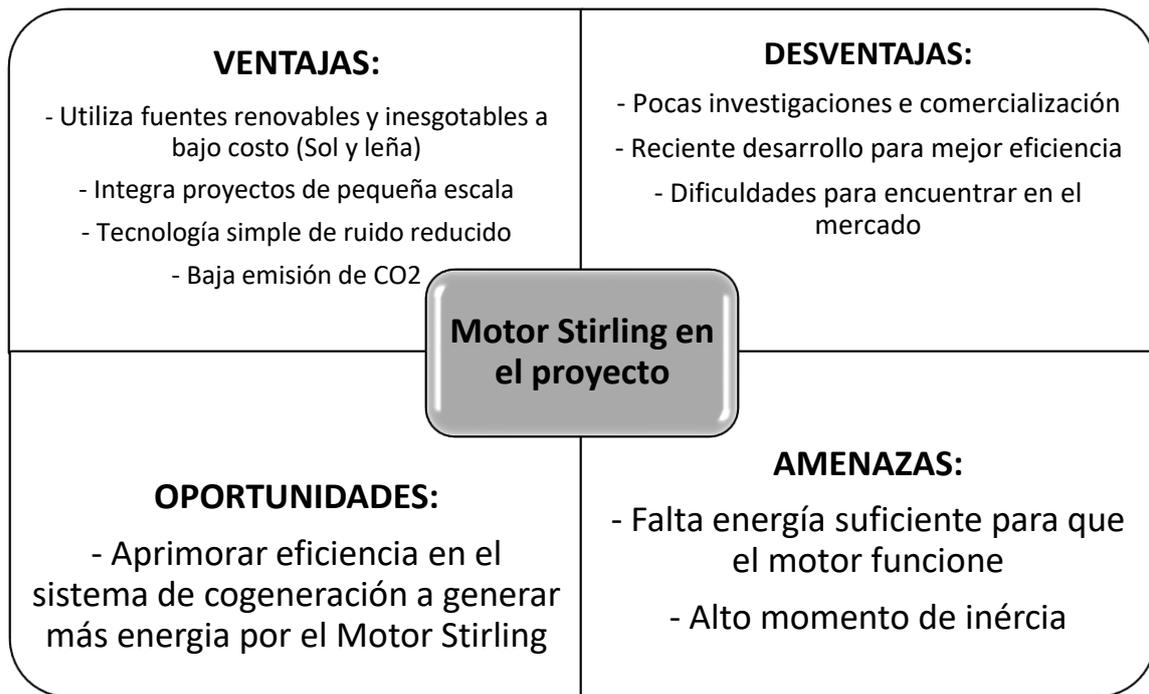


Figura 36 - FODA del motor Stirling en el proyecto

El Motor Stirling en el sistema CSP, se valoriza también por aprovechar superficie, utiliza la mitad de espacio con relación a los paneles térmicos y fotovoltaicos, para la misma producción de energía eléctrica y térmica.

El análisis de las máquinas de ciclo Stirling reales es extremadamente complejo y requiere un análisis informático sofisticado, principalmente debido a los procesos de transferencia de calor por convección no estables. Considerando un modelo idealizado, el motor Stirling trabaja a partir del ciclo termodinámico (ciclo Stirling) por las cuatro etapas y 2 carreras de pistón: compresión isotérmica (temperatura constante), calentamiento isocórico (volumen constante), expansión isotérmica y enfriamiento isocórico.

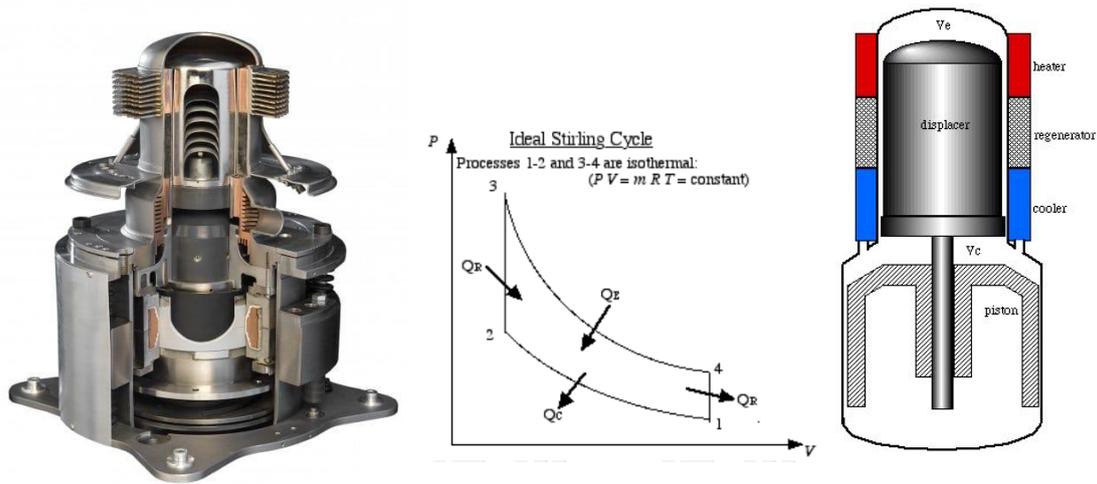


Figura 37 - Motor / generador Stirling de pistón libre MEC EM1 - Ciclo Stirling Ideal

El ciclo Stirling se acerca del rendimiento térmico de la máquina de Carnot. Consta de dos cámaras a diferentes temperaturas que calientan y enfrían un gas de forma alterna, provocando dilataciones y contracciones cíclicas, que mueven. El gas de trabajo utilizado es el aire, por la facilidad de diseño de energía en el CEDUCA. Los valores presentados en la Figura 37 son reales para EM1 - 230VAC-50 Hz Microgen Engine Corporation.

	Data	Unit	
General	Tap Area	m ²	10
	Solar tracking technology		biaxial
	Azimuth range	α°	[-110°; +110°]
	Elevation above the horizon	α°	[-90°; +90°]
	Mirror segments with high reflectivity	n.	11
	Peak electric power	kWp	1
	Power supply	V/Hz	230/50
Electric	Yearly average electric energy*	kWh e	2.100
	Peak thermal power	kWp	3
	Yearly average thermal energy*	kWh t	6.400
Thermal	Cooling fluid	Water 90% + Glicol ethilenic antifreeze 10%	
	Cooling fluid flow	L/min	15
	Hot hot water production at 45°C*	l/h	80
	Hot hot water production at 50°C *	l/h	73
	Hot water production at 60°C*	l/h	57
	Max input temperature for Stirling engine	C°	60°
	Min input temperature for Stirling engine	C°	6°
	Max cooling fluid pressure inside Stirling engine	Bar	7
Piping connection for cooling circuit	inches	3/4	

Figura 38 - EM1 - 230VAC-50 Hz Microgen Engine Corporation.

Posee de tensión de salida en corriente alterna lo que permite suprimir otros equipos de configuración técnica AC, como las máquinas de lavar, herramientas

mecánicas, HVAC, microondas, de los cuales no son compatible con el sistema CC instalada en CEDUCA.

6.4. Diseño del sistema instalado

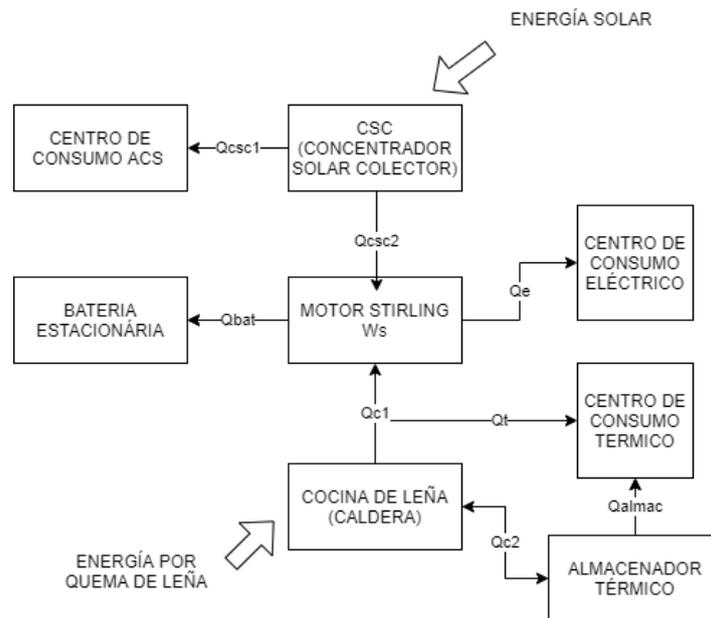


Figura 39 – Diseño del Sistema instalado

6.5. Análisis Energético y Económico

La complejidad para evaluar este estudio de caso por la enorme variabilidad de factores, como la precisión de generación de energía por la cocina de leña, así como la desconocida performance del motor Stirling para este tipo de aplicación, de cogeneración, será realizado los cálculos mediante a la estimación de factores de utilización de los combustible, leña y sol, a cada hora del día.

Para el factor de utilización de la cocina de leña, sugiere variaciones entre 0.5 y 1.0 que es el estado en el cual activará el motor Stirling. La cocina funcionará por tres periodos en el día, desayuno, almuerzo y cena. Los horarios de 8 horas, 12 horas y 21 horas serán las horas pico, luego se extiende gradualmente debido a la presencia de la inercia térmica. Mientras el factor de utilización del sol, se realizará la fracción de la irradiación solar indicado en la específica hora del día por la irradiación pico del día. Estos datos han sido obtenidos a través de la data del programa (PVGIS)-European Commission (PVGIS, 2019) de acuerdo con las coordenadas del CEDUCA (-20.250; -44.361).

Por lo tanto, ha sido posible simular la energía entregada por los dos sistemas con la multiplicación del valor de energía útil, calculado anteriormente, por el factor de utilización de cada sistema en particular. Luego, la energía total generada para el consumo se obtiene con la suma de la energía generada por los sistemas. La simulación contempla el periodo de verano e invierno a agregar mayor confiabilidad. En la Figura 40 y en la Figura 41 muestra los resultados obtenidos.

VERANO

ESTIMACIÓN ENERGÍA ENTREGUE DIARIA-VERANO								
F.utilización C.leña	F.utilización Sol		Hora	Energía cocina de leña (Wh)	Energía Sol (Wh)	Total Energía entregue	Electricidad generada	Energía Térmica generada
0	0	Horario no Operacional	0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0	0		1:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0	0		2:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0	0		3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0	0		4:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0	0		5:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,5	0,13	Horario Operacional	6:00	212,92	127,12	340,04	46,92	139,75458
0,8	0,33		7:00	340,67	320,98	661,65	91,31	271,93731
0,9	0,53		8:00	383,25	525,38	908,63	125,39	373,44723
0,8	0,72		9:00	340,67	703,61	1044,28	144,11	429,19887
0	0,85		10:00	0,00	837,52	837,52	115,58	344,22125
0,6	0,95		11:00	255,50	938,11	1193,62	164,72	490,57669
0,95	1,00		12:00	404,55	983,80	1388,34	191,59	570,60884
0,9	0,92		13:00	383,25	906,62	1289,87	178,00	530,13819
0,8	0,78		14:00	340,67	768,42	1109,09	153,05	455,83753
0,6	0,62		15:00	255,50	606,39	861,89	118,94	354,28697
0,5	0,39		16:00	212,92	381,38	594,29	82,01	244,25507
0	0,19		17:00	0,00	187,87	187,87	25,93	77,215157
0	0,04		18:00	0,00	41,36	41,36	5,71	16,998312
0	0,00		19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,5	0,00		20:00	212,92	0,00	212,92	29,38	87,50977
0,9	0,00		21:00	383,25	0,00	383,25	52,89	157,51759
0,7	0,00		22:00	298,09	0,00	298,09	41,14	122,51368
0,6	0,00		23:00	255,50	0,00	255,50	35,26	105,01172

Figura 40 - Estimación Energía Sistema Cogeneración – Verano

La energía eléctrica y térmica generada, resultase de la multiplicación de la energía total obtenida por cada rendimiento del Motor Stirling, descrito anteriormente. Observase la mayor disponibilidad de energía térmica, lo que sugiere una contribución para el sistema de ACS y posiblemente para el sistema de calefacción, lo que recomienda un estudio detallado para futuros trabajos.

No obstante, la contribución para la generación eléctrica puede ser considerado un valor pequeño con el mayor resultado de 191,59 Wh. Aunque tratando de sistemas de cargas CC de consumo reducido, satisface el suministro de equipos de baja potencia y refuerza el sistema híbrido.

INVIERNO

ESTIMACIÓN ENERGÍA ENTREGUE DIARIA-INVIERNO								
F.utilización C.leña	F.utilización Sol		Hora	Energía cocina de leña (Wh)	Energía Sol (Wh)	Total Energía entregue	Electricidad generada	Energía Térmica generada
0	0	Horario no Operacional	0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0	0		1:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0	0		2:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0	0		3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0	0		4:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0	0		5:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0,5	0	Horario Operacional	6:00	212,92	0,00	212,92	29,38	87,50977016
0,8	0,06		7:00	340,67	58,11	398,78	55,03	163,8975324
0,9	0,23		8:00	383,25	229,07	612,32	84,50	251,6636692
0,8	0,52		9:00	340,67	514,41	855,08	118,00	351,4361431
0	0,78		10:00	0,00	763,00	763,00	105,29	313,5948538
0,6	0,94		11:00	255,50	923,46	1178,96	162,70	484,5523104
0,95	1,00		12:00	404,55	983,80	1388,34	191,59	570,6088411
0,9	0,94		13:00	383,25	923,97	1307,23	180,40	537,2707136
0,8	0,77		14:00	340,67	753,25	1093,92	150,96	449,6011865
0,6	0,52		15:00	255,50	514,03	769,53	106,20	316,2776596
0,5	0,23		16:00	212,92	230,55	443,47	61,20	182,2644937
0	0,06		17:00	0,00	60,01	60,01	8,28	24,66443813
0	0,00	18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	
0	0,00	19:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	
0,5	0,00	20:00	212,92	0,00	212,92	29,38	87,50977016	
0,9	0,00	21:00	383,25	0,00	383,25	52,89	157,5175863	
0,7	0,00	22:00	298,09	0,00	298,09	41,14	122,5136782	
0,6	0,00	23:00	255,50	0,00	255,50	35,26	105,0117242	

Figura 41 – Estimación Energía Sistema Cogeneración – Invierno

Aunque predetermina los valores para la utilización de la cocina de leña, no se limita al uso para diferentes horarios y frecuencia, asimismo, el uso con la única intención de generar energía y calentar el ambiente, principalmente a periodos de ausencia de energía solar y frescos.

Análisis técnico-económica

La inversión del sistema de cogeneración presenta los mayores valores en el sistema CSP Dish y en cocina de leña. El primero debe a su complejidad en el montaje, una vez que se espera una construcción artesanal y de dos ejes y el segundo por los gastos de materiales y servicio. Mientras el costo del motor Stirling ha sido estimado a

US\$ 500/kW (Souza, 2017), aunque tendencia a una fuerte reducción debido al desarrollo de la tecnología y comercialización. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** está representados estos valores. El costo total de R\$ 11.008 (€ 1632) expresa un valor aceptable para la dimensión que es el proyecto, además de su relevante aportación energética en el sistema.

Sistema de Cogeneración		
Energía generada diaria		1,60
	(kWh)	
Sistema CSP Dish	R\$	4.000,00
Cocina de lena	R\$	3.808,00
Motor Stirling	R\$	2.700,00
Accesorios y otros	R\$	500,00
TOTAL COSTO	R\$	11.008,00
TOTAL COSTO/kWh Anual	R\$	19,09

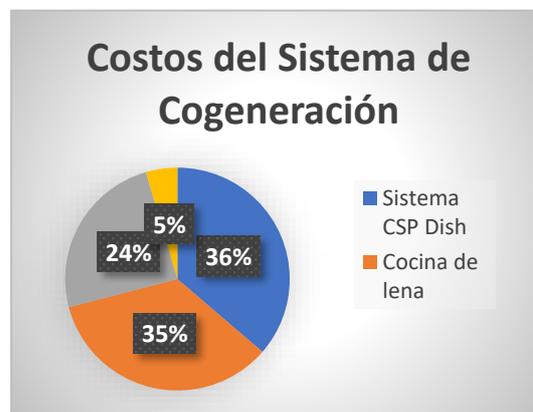


Tabla X- Costos del Sistema de Cogeneración

Tabla 27

6.5. Resultados y discusiones

El sistema de cogeneración prevalece ventajas en la flexibilidad en un sistema híbrido, así como posibilita lograr el ahorro de energía. La aportación en la seguridad del sistema al contribuir en el suministro de la demanda del CEDUCA propone la reducción de la necesidad de las baterías para el consumo diario. En las Figura 42 demuestra la redistribución de la energía útil a cada hora del día en los periodos de verano e invierno respectivamente.

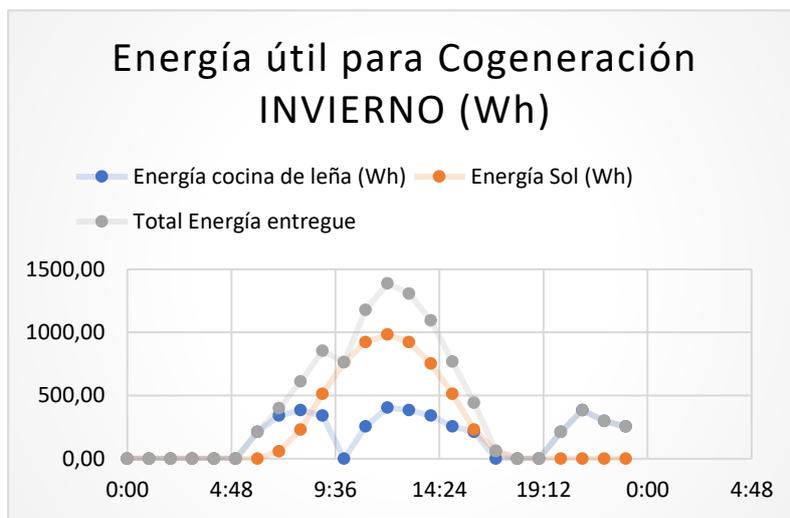
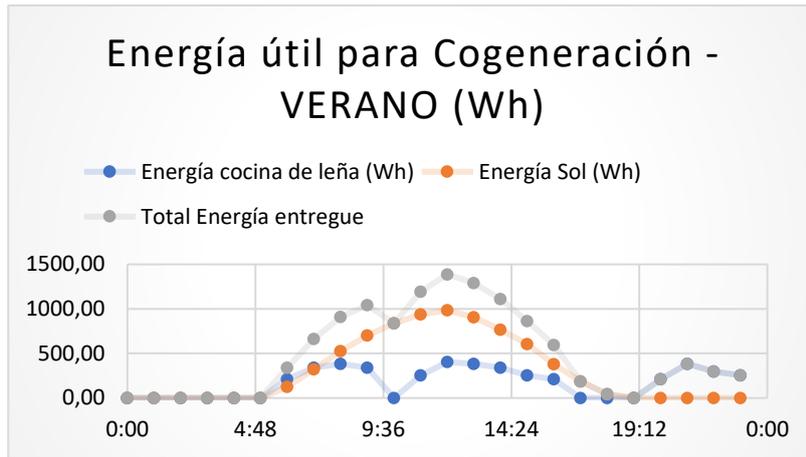


Figura 42 – Energía útil para Cogeneración Verano y Invierno

En invierno reduce dos horas de irradiación solar en el día en comparación al verano, de 13 horas en verano a 11 horas en invierno. Además, implica en la reducción de 12% de la energía total generada, con el valor de 1374.90 Wh en los días de invierno. No obstante, el sistema de cogeneración permite extender la producción de energía con el funcionamiento de la cocina de leña encendiendo con más frecuencia a más horas del día posibilitando atender la demanda deseada.

7. CONCLUSIÓN E RECOMENDACIONES

Concluye en este trabajo la efectividad de la explotación de alternativas hacia a la sostenibilidad. El trabajo conjunto con la ONG Verde concretiza la electrificación del Centro de Educación ambiental de forma eficiente y rentable.

La investigación de sistemas suministrado en corriente continua de 12V y 24V con energías renovables y aislado, resulta grandes variables y barreras. No obstante, el sistema híbrido permite combinar y aprovechar el beneficio de las tecnologías solares y eólicas, aunque dependiente del potencial de los recursos naturales.

La operación de Sistemas CC todavía es un reto y limitante frente al gran mercado eléctrico de sistema CA. La inversión económica de equipos CC sin conversión es alta y para instalaciones residenciales no existe enchufes aplicables. Además, el cambio de paradigmas es complejo y hay carencias de educación.

El ahorro de pérdidas por reducción de conversiones y largas distancias de transmisión de energía, así como la interferencia de las frecuencias potencializa en el sistema estudiado en este trabajo. Recomendaría una investigación más minuciosa en este campo.

El comparativo de las simulaciones realizadas a base de cálculos y por el sistema HOMER ha permitido discutir cuestiones que interfiere directamente en la dimensión del sistema híbrido aislado. El modelo de cálculos satisfizo en la falta de un sistema como del HOMER. Las baterías presentan gran influencia en la tomada de decisión, impacta significativamente en los costes de inversión del proyecto. De la misma forma, el proyecto descentralizado exige de impuestos y posible aumento de la tarifa de energía por 25 años de vida de proyecto.

Por eso, la relevancia en invertir en estudios de otras tecnologías sostenibles a adaptarse al sistema híbrido. La cogeneración a partir de la tecnología de concentración solar con el aprovechamiento de la cocina de leña utilizando el motor Stirling permite auxiliar los sistemas híbridos y posibilitar una reducción de las baterías dimensionadas, consecuentemente del coste de inversión. Recomienda una investigación más detallada de este sistema.

Aunque los costes de sistemas aislados son elevados, proporciona beneficios más allá de la autosuficiencia energética estructural, auxilia en la cooperación comunitaria, en el empoderamiento y responsabilidad social. Asimismo, este proyecto es un gran aliado del medio ambiente.

REFERENCIAS

Antonio Holguino Huarza, L. O. M. & K. U. E. C., 2018. Confort térmico en una habitación de adobe con sistema de almacenamiento de calor en los.

BRASIL, M., 2010. [En línea].

CEMIG, 2021. *CEMIG*. [En línea]
Available at: <https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>
[Último acceso: 2021].

CRESESB, 2014. *Centro de Referência para as Energias Solar y Eolica Sergio de S. Brito*. [En línea]
Available at: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=o_cresesb

Fuertes, J. O. M. & Fuertes, J. O. M., s.f. *EVALUACIÓN DE COCINAS MEJORADAS CON HORNO*.
[En línea]
Available at: cer.uni.edu.pe

Gipe, 2009. *Wind Works*. [En línea]
Available at: [bebbcb4dacd986e38d771a9bd496bdfb](https://www.gipe.com.br/valores-de-tarifas-e-servicos/)
[Último acceso: 2021].

IBGE, 2019. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. [En línea]
Available at: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg.html>

IEA, 2020. *Projected Cost of Generating Electricity*. [En línea]
Available at: <https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020>

IEA, 2020. *IEA*. [En línea]
Available at: [iea.org/articles/defining-energy-access-2020-methodology](https://www.iea.org/articles/defining-energy-access-2020-methodology)

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, Q. E. T., 2020. *PBE - Coletor Solar - Banho*. [En línea]
Available at: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/Coletor-Solar-Banho-PBE-2018.pdf>

Morandi2, M. S. R. S. & I. C., s.f. *AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE TEMPORAL DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS*.

OETEC-ID, 2012. *Observatorio de la Energía, Tecnología e Infraestructura para el Desarrollo*. [En línea]

Available at: oetec.org/nota.php?id=1928&area=14

PVGIS, 2019. [En línea]

Available at: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#MR

Shamshirband Shahab; Petkovic, Dalibor; Saboohi, Hadi; Anuar, Nor Badrul, 2014. Wind turbine power coefficient estimation by soft computing methodologies: Comparative study. Issue 250-526.

Souza, C. C. d., 2017. *AGROLINK*. [En línea]

Available at: [https://www.agrolink.com.br/colunistas/vem-ai-a-revolucao-dos-novos-motores-stirling-modificados---gracias-a-poderosa-protecao-do-setor-aerospacial-submarino_397977.html#:~:text=1\)%20Os%20ainda%20elevados%20custos,esperada%20mais%20da%20escassez%20crescent](https://www.agrolink.com.br/colunistas/vem-ai-a-revolucao-dos-novos-motores-stirling-modificados---gracias-a-poderosa-protecao-do-setor-aerospacial-submarino_397977.html#:~:text=1)%20Os%20ainda%20elevados%20custos,esperada%20mais%20da%20escassez%20crescent)

WWF20, 2020. *WWF20*. [En línea]

Available at: org.br/?76422/Acesso-a-energia-com-fontes-renovaveis-em-regioes-remotas-no-brasil

ANEXOS