

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIOS DE

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**Estudio comparativo entre baterías Gel y LFP, proyecto
fotovoltaica off grid - distrito Napo 2020**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

Electricista

Autor: Rossi Córdova, Diego Gabriel

Coautor: Rossi Córdova, Rafael Eduardo

Asesor – Código ORCID

Barreto Aranda, Pedro

Código 0000-0002-4498-326X

CHIMBOTE – PERÚ

2021

ÍNDICE

Palabras Clave _____	iii
Título de la investigación _____	iv
Resumen _____	v
Abstract _____	vi
Índice de contenido _____	ii
1. Introducción _____	1
2. Metodología _____	11
3. Resultados _____	13
4. Análisis y discusión _____	16
5. Conclusiones y Recomendaciones _____	17
6. Referencias bibliográficas _____	19
Anexos y apéndice _____	22

PALABRAS CLAVE

Batería Gel, LFP

KEYWORD

Gel battery, LFP

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN- OCDE

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

TITULO

Estudio comparativo entre baterías Gel y LFP, proyecto fotovoltaica off grid - distrito Napo 2020.

RESUMEN

El propósito principal de la investigación es realizar un estudio comparativo entre baterías Gel y LFP del proyecto fotovoltaica off grid - distrito Napo 2020, para seleccionar la tecnología de batería. El estudio es del tipo descriptivo, de diseño no experimental y transeccional descriptivo. Los instrumentos de investigación son el estudio de mercado para determinar la energía nominal requerida y el registro de parámetros para determinar la energía útil del sistema y el costo \$/kWh/ciclo. Se determinó la energía nominal requerida 64.68 kWh-día, la energía útil del sistema de baterías LFP es de 192 kWh (DOD 90%) y para baterías Gel la energía útil es de 225 kWh (DOD del 50%), el costo \$/kWh/ciclo de cada tecnología de baterías Gel y LFP es de 0.38 y 0.1 respectivamente, representando un ahorro del 280.42%, se determinó el valor actual neto de las baterías Gel S/-641754.95 y las baterías de LFP S/-230466.11, seleccionando las baterías con tecnología LFP dado su mayor rentabilidad.

ABSTRACT

The main purpose of the research is to carry out a comparative study between Gel and LFP batteries of the photovoltaic off grid project - Napo 2020 district, to select the battery technology. The study is of the descriptive type, with a non-experimental and descriptive transectional design. The research instruments are the market study to determine the nominal energy required and the registry of parameters to determine the useful energy of the system and the cost \$ / kWh / cycle. The nominal energy required 64.68 kWh-day was determined, the useful energy of the LFP battery system is 192 kWh (90% DOD) and for Gel batteries the useful energy is 225 kWh (50% DOD), the cost \$ / kWh / cycle of each Gel and LFP battery technologies is 0.38 and 0.1 respectively, representing a saving of 280.42%, the net present value of Gel batteries S / -641754.95 and LFP batteries S / -230466.11 was determined, selected batteries with LFP technology given their higher profitability.

INTRODUCCIÓN

Se realizó una revisión de artículos científicos publicados por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers -IEEE) contemporáneos, como el trabajo “Battery modeling for microgrid design: a comparison between lithium-ion and lead acid technologies” realizado por el equipo de investigadores Moncecchi, Brivio, Corigliano, Cortazzi, & Merlo (2018) señalan que las baterías ion litio (Li-ion) son una tecnología emergente y las baterías de plomo ácido a estado consolidados en el tiempo. En el paper académico de Yoomak & Ngaopitakkul (2019) sobre “Feasibility Analysis of Different Energy Storage Systems for Solar Road Lighting Systems” realizaron un análisis de las baterías de plomo-ácido (Lead Acid battery) y baterías de iones de litio, obteniendo que las baterías de iones de litio tiene una mejor viabilidad económica en el proyecto, de igual forma Kassing, Sumper, Müller, & Heißwolf (2017) en su trabajo sobre “Battery storage systems feasibility study for revenue models in Germany” realizaron un VAN, obteniendo la batería de ion litio una mayor rentabilidad que las baterías de plomo ácido; los autores Khiareddine, Gam, & Faouzi Mimouni (2019) obtuvieron resultado similar, al seleccionar a las baterías de LFP en su estudio “Techno-economic análisis of the lithium-ion and lead-acid battery in Photovoltaic pumping system” sobre las baterías de Lead Acid Battery (LA). Los autores Brasil & Melo (2017) en su investigación sobre “A comparative study of lead-acid batteries and lithium iron phosphate batteries used in microgrid systems” señalan que las baterías LiFePO₄ tienen un costo de \$375/kWh, con un ciclo de vida de 2000 y las baterías de plomo ácido tiene un costo \$209/kWh, con un ciclo de vida de 400, seleccionaron las baterías de ion litio por su mayor rentabilidad. En la misma dirección Keshan, Thornburg, & Selim Ustun, (2016) en su ponencia sobre “Comparison of lead-acid and lithium ion batteries for stationary storage in off-grid energy systems” señalan que las baterías de iones de litio y las de plomo-ácido son las más usadas en el almacenamiento de energía, específicamente las de litio-ferrofosfato (baterías

LFP) y las baterías de plomo-ácido regulada por válvula o valve regulated leadacid battery (VRLA), a través de una análisis de costos los autores concluyeron que las baterías LFP presentan una mayor rentabilidad, presentando un costo de \$400/kWh, ciclo de vida de 2000 de carga-descarga, y las de VRLA un costo de \$150/kWh, con ciclo de vida de 500 de carga-descarga; lo que concuerda con Thapa, Choon Park, Lee, & Sung (2019) en “A Comparative Study on VRLA and Li-ion Battery for Use in Frequency Modulation (FM) Station” indican que las baterías de ion litio y VRLA son las mayormente usadas en los proyectos de energía renovables y que las baterías de ion litio presentan un costo inicial mayor, una alta densidad de carga y tienen una mayor vida útil por lo que es preferible su uso sobre las VRLA. Karthigeyan, Aswin, Priyanka, Dileep Sailesh, & Palanisamy, (2017) en “A comparative study of lithium ion (LFP) to lead acid (VRLA) battery for use in telecom power system” muestran las ventajas de las baterías LFP frente a las VRLA como no necesitar un ambiente con aire acondicionado para como en el caso de VRLA y tienen una mayor eficiencia. Los resultados simulados por Yaoyao, Xiangjun, Xiaojuan, & Xuecui (2018) en su trabajo de investigación sobre “Capacity Configuration and Economic Evaluation of Grid-Connected PV and Energy Storage Charging Station” muestran que las baterías de plomo ácido regulada por válvula o Valve regulated lead acid battery (VRLA) son más rentables económicamente que las de litio-ferrofosfato, resultados similares simulados por Mars, Krouz, Louar, & Sbita (2017) en “Comparison study of different dynamic battery model” señalan que las baterías de plomo ácido son seleccionadas frente a las baterías de ion litio.

El fundamento teórico se basa en el estudio del almacenamiento de energía, representado por la tecnologías antigua y madura de las baterías de plomo ácido, su evolución sin manteniendo en las baterías de plomo ácido regulada por válvula o llamadas baterías gel y las baterías de ion litio que se ha investigado intensivamente en los últimos años representadas por las baterías de lito ferrofosfato, caracterizado por su alta densidad de energía, mínimo

mantenimiento pero alto costo (Jäger, Isabella, Smets, Van Swaaij, & Zeman, 2014; Domínguez & Ferrer, 2019). “Las baterías más empleadas son las de ácido plomo, aunque están empezando a ser desplazadas por las de ion-litio, que son más eficientes, menos voluminosas y menos contaminantes; sin embargo, su precio es aún muy elevado” (Baselga, 2019a, p.40). En el siguiente figura se muestran los diferentes tipos de tecnología de baterías secundarias con los ejes de densidad de energía gravimétrica (energía por kilogramo) y densidad volumétrica (energía por litros).

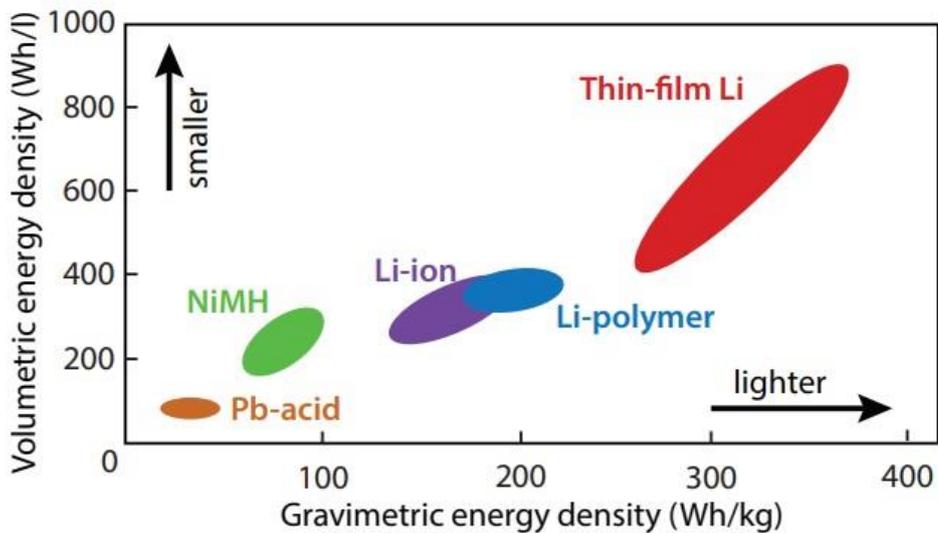


Figura 1. Tecnología de las baterías secundarias.

Fuente: Jäger et al., 2014

El interés a lo largo de los últimos doce meses de información sobre las baterías de ion litio fue 54% y baterías de plomo – ácido 22% en el mercado peruano, como se muestra en la siguiente figura:

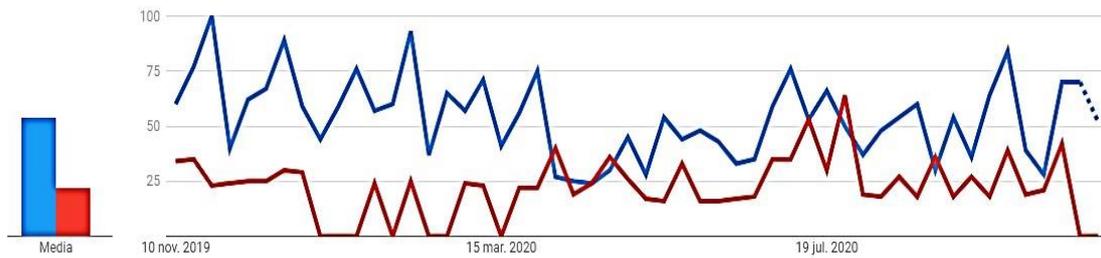


Figura 2. Tendencia de información de baterías de litio y baterías de plomo en el mercado peruano.

Fuente: Google, 2020

La batería es una fuente de energía electroquímica ampliamente usado en diversas aplicaciones y se divide en baterías primarias en la cual su reacción electroquímica es irreversible, por lo que después de ser descargado no se volverá a cargar y las baterías secundarias, cuya reacción electroquímica es reversible por lo que se puede volver a cargar con un ingreso de corriente continua; el funcionamiento básico consiste en una celda electroquímica que presenta dos electrodos: ánodo (negativo, oxidación) y cátodo (positivo, reducción), estos electrodos son conductores eléctricos como metales o semiconductores donde fluyen electrones por la diferencia de potencial, el circuito se cierra con un puente salino (Universidad Técnica Federico Santa María, 2010). Las baterías de plomo ácido están formados por celdas bipolares con una tensión de 2V, por ejemplo una batería de 12V consta de 6 celdas conectadas en serie y cada celda está formada por un conjunto de placas positivas y negativas, en la parte interna tenemos al electrolito que es ácido sulfúrico disuelto en agua destilada, donde la carga de la batería es directamente proporcional a su densidad (Baselga, 2019b).

Las baterías de gel o las baterías de plomo-ácido regulada por válvula o valve regulated lead-acid battery (VRLA) es una batería de plomo ácido donde el electrolito es un gel formado básicamente por ácido sulfúrico al que se le añade ácido silícico (silicona), por lo que no requiere mantenimiento al estar sellados y a presión, el funcionamiento es similar las de plomo ácido, la diferencia es que el electrolito es gelatinoso (gel) por lo tanto se puede instalar de forma vertical o inclinada (máx. 180°), dado que no habrá

derrames como en las baterías de plomo ácido, además de suceder una rotura, cero fugas de líquido (Barrera & Ros, 2011; Domínguez & Ferrer, 2019).

Los parámetros para seleccionar una batería son la tensión nominal de la batería – V (12V,24V,48V); capacidad nominal de la batería - $C_{battery}$ (Ah, mAh) es la cantidad de energía que entrega a tensión nominal, es proporcional a la cantidad de electrodos y clase de electrolito, el voltaje se basa en composición química y la capacidad en la cantidad de material activo, físicamente la carga se mide en coulomb ($C = A.s$ y $3.6 kC = Ah$); corriente nominal – I (A, mA) es corriente máxima que puede circular por la batería, exceder este valor dañaría el electrodo de la batería; capacidad de energía – $E_{battery}$ (E) es el producto de $C_{battery}$ por V; C-Rate, es la razón entre la corriente de descarga y la capacidad de la batería por hora, corresponde a la carga/descarga máxima durante “n” horas (Jäger et al., 2014). La capacidad nominal también se puede definir como “Cantidad de energía eléctrica que puede obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado” (Leaf Energy, 2020):

Tabla 1. *Tasa de carga – descarga de la batería (C-Rate) y tiempo de servicio*

C-rate	Time
2C	30 min
1C	1 h
0.5C o C/2	2 h
0.2C o C/5	5 h
0.1C o C/10 (C10)	10 h
0.05C o C/20 (C20)	20 h

Fuente: Battery University, 2020

Los acumuladores usados en sistemas fotovoltaicos son los de una capacidad nominal de C10 ó C20 (Leaf Energy, 2020).

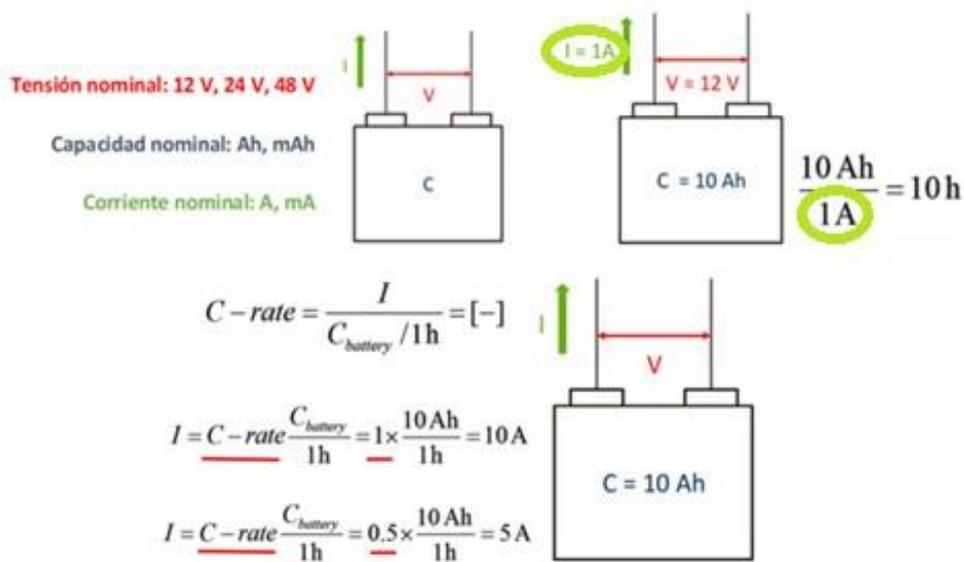


Figura 3. Parámetros en las baterías.

Fuente: Jäger et al., 2014

La eficiencia de almacenamiento (η) en las baterías es la razón entre la energía de salida (E_{out}) y la energía de entrada (E_{in}) (Jäger et al., 2014).

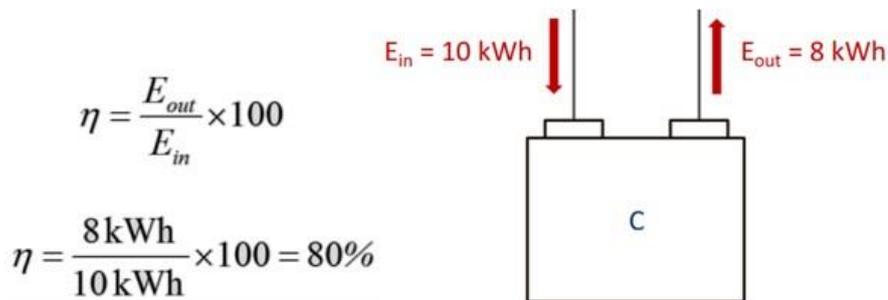


Figura 4. eficiencia de almacenamiento.

Fuente: Jäger et al., 2014

Estado de carga ó State of charge (SOC) es la razón entre la capacidad de carga parcial y la carga nominal de la batería, donde SOC igual a 0% es descarga total (Perales, 2012), además se usa el termino de profundidad de descarga o Depth of discharge (DOD) que representa el porcentaje de batería descargada (Jäger et al., 2014). DOD se puede expresar como el porcentaje de energía utilizado durante un ciclo de carga/descarga, las baterías para sistemas fotovoltaicos se caracterizan por ser de ciclos

profundos de descarga de hasta 70% de DOD en baterías de plomo-acido (DOD_{max} para aplicaciones residenciales es 60% y profesionales 50%) y en LFP de 80 – 90% en la mayoría de casos, indicando algunos fabricantes de LFP 100% de DOD (Leaf Energy, 2020 y Energía y Movilidad, 2020)

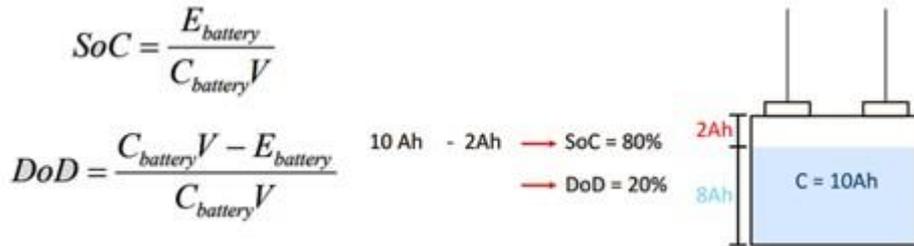


Figura 5. SOC y DOD baterías.

Fuente: Jäger et al., 2014

El ciclo de vida de las baterías es el número de ciclos (carga-descarga), en la baterías de plomo para un DOD del 50% se tiene aproximadamente la mitad de ciclos si descargamos al 30% del DOD, con la tecnología de baterías de litio se tendrá más ciclos de vida, con menor sensibilidad de DOD en el rango de 30% al 80% (Autosolar, 2020).

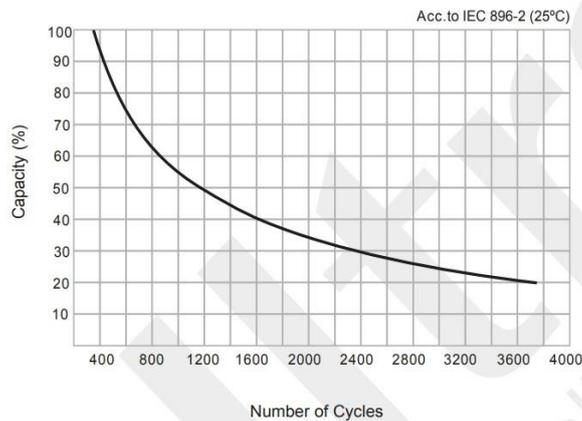


Figura 6. Numero de ciclos en función de profundidad de descarga baterías gel.

Fuente: Autosolar, 2020

La autonomía de la batería es un parámetro teórico que muestra cuantos días la batería brinda energía eléctrica en ausencia de generación solar, las

recomendaciones para Perú en aplicaciones residenciales de 1.5 a 2 días y aplicaciones profesionales de 2.5 días a 3 días (Leaf Energy, 2020).

La conexión en paralelo de la baterías se obtiene enlazando (cables certificados) los polos del mismo símbolo y en conexión en serie se enlaza polos con símbolo diferente, siendo las baterías con el mismo voltaje y amperaje respectivamente (Barrera & Ros, 2011; Domínguez & Ferrer, 2019).

La presente investigación se justifica socialmente porque permitirá que la población del distrito de Napo se beneficie con el suministro de energía eléctrica, al realizar un estudio comparativo entre Baterías Gel y LFP, seleccionando técnica y económicamente la tecnología de baterías del proyecto “Instalación del sistema de electrificación rural de la cuenca del río Napo y Curaray, distritos fronterizos de Napo y Torres Causana, región Loreto”, impulsado por la Dirección General de Electrificación Rural del Ministerio de Energía y Minas. El aporte científico de la tesis es el de elaborar un estudio inédito comparativo entre Baterías Gel y LFP en un proyecto fotovoltaica off grid - distrito Napo 2020.

Por el texto antecedente se plantea el siguiente problema de investigación: ¿El estudio comparativo entre Baterías Gel y LFP, proyecto fotovoltaica off grid - distrito Napo 2020, permitirá seleccionar la mejor tecnología de baterías técnica y económicamente?

La conceptualización y operacionalización de las variables se indican a continuación:

Tabla 2. *Definición conceptual y operacionalización de variables en estudio.*

Variables	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Técnica	Instrumentos
Batería de gel y batería de LFP	Batería de gel: “Es un acumulador plomo-ácido cuyo electrolito es un gel formado principalmente por ácido sulfúrico al que se le agrega ácido silícico” ((Domínguez & Ferrer, 2019). Batería de LFP: pertenece a la familia de baterías de ion-litio donde el electrolito es una sal de litio, ánodo de litio y cátodo un óxido de fosfato de hierro ó LiFePo). (Baselga, 2019c)	Se determinar la cantidad de energía a almacenar en las baterías, la profundidad de descarga (DOD), el costo, vida útil en ciclos.	energía nominal requerida	Energía por día (kWh/día)	Recopilación y análisis de datos secundarios	Anexo 1. Estudio de mercado para determinar la energía nominal requerida por la localidad. Anexo 2. Parámetros para determinar la energía útil del sistema y el costo por dólar por unidad de energía sobre ciclo.
			energía útil del sistema	Energía disponible (kWh)		
			DOD	Profundidad de descarga (%)		
			Ahorro por unidad de energía por ciclo	\$/kWh.ciclo)		
			Rentabilidad	Menor S/.VAN		

Como hipótesis se considera que el estudio comparativo entre Baterías Gel y LFP, permitirá seleccionar técnica y económicamente la batería adecuada para el proyecto fotovoltaica off grid - distrito Napo 2020.

El objetivo general de la investigación es de realizar el estudio comparativo entre Baterías Gel y LFP, proyecto fotovoltaica off grid - distrito Napo 2020.

Los objetivos específicos del estudio son los siguientes:

- Determinar la energía nominal requerida por la localidad en base a un estudio de mercado.
- Determinar la energía útil del sistema de baterías en función del DOD disponible por tecnología Gel y LFP.
- Determinar el costo por dólar por unidad de energía sobre ciclo de carga y descarga (\$/kWh/ciclo) de cada tecnología de batería Gel y LFP, mostrando el ahorro económico.
- Determinar el valor actual neto de cada tecnología para seleccionar la tecnología con mayor rentabilidad.

METODOLOGÍA

Tipo y diseño de investigación

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

La población y muestra son la misma y está constituida por el proyecto fotovoltaica off grid - distrito Napo 2020. Corresponde a un muestreo no probabilístico por conveniencia.

El esquema del diseño de investigación transeccional descriptivo:

M1 O1

M2 O2

Donde:

M1: Diseño batería Gel, proyecto fotovoltaica off grid.

O1: Observaciones batería Gel, proyecto fotovoltaica off grid.

M2: Diseño batería LFP, proyecto fotovoltaica off grid.

O2: Observaciones batería LFP, proyecto fotovoltaica off grid.

Técnica e instrumentos de investigación

La técnica utilizada en el estudio es la recopilación y análisis de datos secundarios o también llamada análisis documental como lo indica Hernández, Méndez, & Mendoza: “Se fundamenta en información disponible recolectada... provenientes de fuentes oficiales... Oficinas y agencias gubernamentales... Organizaciones privadas... Organizaciones no gubernamentales... Organizaciones internacionales” (pp. 53,56, 2014). Los instrumentos elaborados con esta técnica son: Anexo 1. Estudio de mercado para determinar la energía nominal requerida por la localidad y Anexo 2. Parámetros para determinar la energía útil del sistema y el costo por dólar por unidad de energía sobre ciclo.

Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se realizó con hojas de cálculo de Microsoft Excel 2019. El análisis se realizó con tablas, gráficas de energía útil en función de la energía almacenada y DOD, vida útil en ciclos con los costos asociados.

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

Se determina la energía útil disponible en la baterías a partir de la energía nominal requerida, se incluye las perdidas asociadas y el derrateo por temperatura, se determina el número de baterías en función de los días de autonomía, teniendo en presente que los grupos de baterías tenga la misma tensión en el banco de baterías, se determina la vida útil en ciclos y los costos asociados en una hojas de cálculo de Excel 2019.

El procedimiento de la tesis, dada su naturaleza comprenderá el desarrollo y ejecución de las siguientes etapas a efectos de alcanzar lo establecido:

- A. Se analizó y estudio la información bibliográfica sobre el diseño de estudio comparativo entre baterías Gel y LFP en proyecto fotovoltaica off grid.
- B. Se obtuvo la energía nominal requerida por la localidad en base a un estudio de mercado, teniendo como datos información INEI (2018), Electro Oriente (2018) y datos de campo de RUBELEC (2018), registros que se muestran en el anexo 1.
- C. Se determina el costo por dólar por unidad de energía sobre ciclo de carga y descarga (\$/kWh/ciclo) de cada tecnología de batería Gel y LFP, mostrando el ahorro económico, teniendo como base los datos mostrados en el anexo 2
- D. Se determina el valor actual neto de cada tecnología para seleccionar la tecnología con mayor rentabilidad con los registros que se muestran en el anexo 2

RESULTADOS

La energía nominal requerida por la localidad en base a un estudio de mercado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3. *Energía nominal requerida del proyecto*

Descripción	Valor
Consumos de abonados domésticos (kWh-día)	23.43
Consumos de abonados comunales tipo I (kWh-día)	2.31
Consumos de abonados comunales tipo II (kWh-día)	3.08
Consumos de alumbrados públicos (kWh-día)	32.40
Pérdida de Energía anual (KWh-día) (5.64%)	3.45
Energía nominal requerida (kWh-día)	64.68

Nota. La base los datos para los consumos de energía se muestra en el Anexo 1. El porcentaje de pedidas de energía de 5.64% se obtenido de Quantum - Electro Oriente (2019).

La energía útil del sistema de baterías en función del DOD y el costo por dólar por unidad de energía sobre ciclo de carga y descarga (\$/kWh/ciclo) de cada tecnología de batería Gel y LFP, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4. *Energía útil del sistema y el costo por dólar por unidad de energía sobre ciclo.*

Energía Requerida kWh		Baterías			Energía Baterías				Costos					
Nominal	Con derrateo	Cant.	Grupo /Serie	Paralelo	Total	C/batería Wh	E. útil C/b sistema at. Wh kWh	E. útil	Ciclos	S./UNID	\$/UNID	Inversión sistema \$	\$/kWh	\$/kWh/CICLO
64.68	77.62	40	5	8	40	3 552	3 196.8	192	6000	1 0947	2 881	115 233	601	0.1
64.68	88.94	92	4	24	96	3 120	1 560	225	750	2 540	668	64 175	286	0.38

Nota. La base los parámetros para realizar los cálculos se muestra en el Anexo 2

El valor actual neto de cada tecnología de baterías se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5. *Valor actual neto (VAN) por cada tipo de tecnología de batería*

AÑO	LFP	GEL
1	-115 233	-64 175
2		
3		-64 175
4		
5		-64 175
6		
7		-64 175
8		
9		-64 175
10		
11		-64 175
12		
13		-64 175
14		
15		-64 175
16	-115 233	
17		-64 175
18		
19		-64 175
20		
VAN	-S/230 466.11	-S/641 754.95

Nota.- El tiempo de vida de la tecnología de las baterías se determinó en función de los ciclos de carga y descarga, para los LFP es de 6 000 (DOD 90%) y baterías gel 750 (50%DOD), obteniendo 16 y 2 años respectivamente.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La energía nominal requerida por la localidad en base a un estudio de mercado es de 64.68 kWh-día, determinado para el año 20 del proyecto (2038) con 38 abonados domésticos con un consumo 0.62 kWh-día, 3 Abonados comunales tipo I con un consumo de 0.77 kWh-día, 2 Abonados comunales tipo II con un consumo de 1.54 kWh-día y 45 puntos de iluminación con un consumo de 0.72 kWh-día; los cálculos fueron basados en datos recopilados de INEI (2018), Electro Oriente (2018) y datos de campo de RUBELEC (2018).

La energía útil del sistema de baterías para la tecnología de LFP es de 192 kWh en función de un DOD del 90%, recomendado por el fabricante Pylontech (2020) y para las baterías gel es de 225 kWh calculado con un DOD del 50% como lo recomienda Leaf Energy (2020) para aplicaciones profesionales como es el caso del proyecto fotovoltaica off grid - distrito Napo 2020, además Leaf Energy indica 1.5 días de autonomía para aplicaciones residenciales en Perú.

El costo por dólar por unidad de energía sobre ciclo de carga y descarga (\$/kWh/ciclo) de las tecnologías de batería Gel es de 0.38 y LFP 0.1 representando este valor un ahorro del 280.42% resultados similares obtuvieron Brasil & Melo (2017) con un costo \$209/kWh para las baterías de plomo ácido con un ciclo de vida de 400 se obtiene 0.52 \$/kWh/ciclo y \$375/kWh para LFP con un ciclo de vida de 2000 se obtiene 0.19 \$/kWh/ciclo que representa un ahorro del 178.67%; y Keshan, Thornburg, & Selim Ustun, (2016) con costo LFP de \$400/kWh, ciclo de vida de 2000 se obtiene 0.2 y las de VRLA un costo de \$150/kWh, con ciclo de vida de 500 se obtiene 0.3, representando las baterías de LFP un ahorro del 50%.

Se determino el valor actual neto de las baterías Gel es de S/-641 754.95 y las baterías de LFP es de S/-230 466.11, presentando la tecnología LFP una mayor rentabilidad, este resultado es similar a los encontrados por Moncecchi et al. (2018), Kassing et al. (2017), Khiareddine et al. (2019), Thapa et al. (2019).

CONCLUSIONES

- Se determino la energía nominal requerida por la localidad teniendo como base un estudio de mercado, resultando un valor de 64.68 kWh-día, determinado para el año 20 del proyecto (2038).
- La energía útil del sistema de baterías para la tecnología de LFP es de 192 kWh en función de un DOD del 90%, y para las baterías gel la energía útil es de 225 kWh calculado con un DOD del 50%.
- El costo por dólar por unidad de energía sobre ciclo de carga y descarga (\$/kWh/ciclo) de cada tecnologías de baterías Gel y LFP es de 0.38 y 0.1 respectivamente, representando este valor un ahorro del 280.42%.
- Se determino el valor actual neto de las baterías Gel es de S/-641 754.95 y las baterías de LFP es de S/-230 466.11, seleccionado las baterías con tecnología LFP dado su mayor rentabilidad (menor inversión).

RECOMENDACIONES

- El estudio servirá como base para realizar futuras investigaciones sobre el estudios comparativos entre baterías Gel y LFP en proyecto fotovoltaica off grid en los cuales se debe determinar la energía nominal requerida, energía útil del sistema de baterías en función del DOD disponible por tecnología, costos por dólar por unidad de energía sobre ciclo de carga y descarga (\$/kWh/ciclo) y el valor actual neto de cada tecnología.
- Se debe tener presente las recomendaciones del fabricante sobre el DOD requerido para mantener la vida útil de las baterías.
- Al seleccionar las baterías de plomo acido como son las de válvula regulada o llamadas baterías Gel se debe tener en cuenta el parámetro de capacidad de la batería “C” para solo seleccionar C10 ó C20 que descargan en 10 horas ó 20 horas respectivamente, siendo las adecuadas para sistemas fotovoltaicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autosolar. (15 de Noviembre de 2020). *Autosolar*. Obtenido de <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/baterias-solares-conceptos-basicos>
- Autosolar. (5 de mayo de 2021). *Autosolar*. Obtenido de <https://autosolar.pe/>
- Barrera, O., & Ros, J. (2011). *Sistemas eléctricos y de seguridad y confortabilidad*. Madrid: Paraninfo. Recuperado de shorturl.at/iIKT7.
- Baselga, M. (2019a). *Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas y sus componentes (ISF)*. Madrid: Editex, S. A. Recuperado de shorturl.at/puDG0.
- Baselga, M. (2019b). *Sistemas de acumulación (ISF)*. Madrid: Editex. Recuperado de <https://bit.ly/3fIIiTL>.
- Baselga, M. (2019c). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Editex. <https://bit.ly/3pSF4vZ>.
- Battery University. (9 de Noviembre de 2020). *Battery University*. Obtenido de https://batteryuniversity.com/learn/article/what_is_the_c_rate#:~:text=Charge%20and%20discharge%20rates%20of,delivers%20A%20for%2030%20minutes.
- Brasil, C., & Melo, C. (2017). A comparative study of lead-acid batteries and lithium iron phosphate batteries used in microgrid systems. *2017 Brazilian Power Electronics Conference (COBEP)*. Juiz de Fora, Brazil: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8257424>.
- Domínguez, E., & Ferrer, J. (2019). *Baterías (FPB Electricidad del vehículo)*. Madrid: Editex. Recuperado https://www.google.co.in/books/edition/Bater%C3%ADas_FPB_Electricidad_del_veh%C3%ADculo/YFWkDwAAQBAJ?hl=en&gbpv=1&dq=bater%C3%ADas+de+plomo+%C3%A1cido+regulada+por+v%C3%A1lvula&pg=PA91&printsec=frontcover.
- Electro Oriente. (2018). Consumo de energía Sistema Aislado de Tamshiyacu. Loreto.
- Energía y Movilidad. (22 de setiembre de 2020). "CHARLA TÉCNICA EXPOSOLAR "Sistemas de almacenamiento de energía inteligente ¿Plomo-ácido o litio?" Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=DxVsBDe4xsY>
- Google. (11 de noviembre de 2020). *Google Trends*. Obtenido de <https://trends.google.com/trends/?geo=US>
- Hernández, S., Méndez, S., & Mendoza, P. (11 de Junio de 2014). *Recursos en línea de Metodología de la investigación (6a. ed.)*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2018, de McGRAW-HILL. Recuperado de <http://highered.mheducation.com/sites/dl/free/1456223968/1016239/CAPITULO07.pdf>

- INEI. (2018). Perú: Perfil de la pobreza por dominios geográficos 2007-2017. Lima: INEI. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1585/libro.pdf.
- Jäger, K., Isabella, O., Smets, A., Van Swaaij, R., & Zeman, M. (2014). *Solar Energy Fundamentals, Technology, and Systems*. Delf: Delft University of Technology. Recuperado de https://courses.edx.org/c4x/DelftX/ET.3034TU/asset/solar_energy_v1.1.pdf.
- Karthigeyan, V., Aswin, M., Priyanka, L., Dileep Sailesh, K., & Palanisamy, K. (2017). A comparative study of lithium ion (LFP) to lead acid (VRLA) battery for use in telecom power system. *2017 International Conference on Computation of Power, Energy Information and Commuincation (ICCPEIC)*. Melmaruvathur, India: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8290462>.
- Kassing, P., Sumper, A., Müller, T., & Heißwolf, M. (2017). Battery storage systems feasibility study for revenue models in Germany. *2017 International Conference on Modern Power Systems (MPS)*. Cluj-Napoca, Romania: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7974444>.
- Keshan, H., Thornburg, J., & Selim Ustun, T. (2016). Comparison of lead-acid and lithium ion batteries for stationary storage in off-grid energy systems. *4th IET Clean Energy and Technology Conference (CEAT 2016)*. Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8278591/>.
- Khiareddine, A., Gam, O., & Faouzi Mimouni, M. (2019). Techno-economic analysis of the lithium-ion and lead-acid battery in Photovoltaic pumping system. *2019 19th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)*. Sousse, Tunisia: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8717221>.
- Leaf Energy. (2020). *Sistemas solares fotovoltaicos: dimensionamiento, instalacion y aplicaciones*. Chorrillos.
- Mars, N., Krouz, F., Louar, F., & Sbita, L. (2017). Comparison study of different dynamic battery model. *2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS)*. Hammamet, Tunisia: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8066241>.
- Moncecchi, M., Brivio, C., Corigliano, S., Cortazzi, A., & Merlo, M. (2018). Battery modeling for microgrid design: a comparison between lithium-ion and lead acid technologies. *2018 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*. Amalfi, Italy: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8445343>.
- Perales, T. (2012). *El universo de las energías renovables*. Barcelona: Marcombo.

- Pylontech. (1 de marzo de 2020). *Electrotech*. Obtenido de http://www.electrotech.gr/PYLONTECH_Low+Voltage+energy+storage+system-+20LV031003.pdf
- Quantum - Electro Oriente. (Mayo de 2019). Estudio de costos del valor agregado. Loreto: Osinergmin. Recuperado de <https://www2.osinergmin.gob.pe/GRT/Procesos-Regulatorios/VAD-20192023/VAD-2019-2023-6-Elor-Informe-Definitivo.pdf>.
- Ritar. (5 de mayo de 2021). *Autosolar*. Obtenido de <https://autosolar.pe/baterias-degel-12v/bateria-ritar-12v-260ah-dg-gel>
- RUBELEC. (2018). *ESTUDIO DE MERCADO ELÉCTRICO*. Chimbote: RUBELEC.
- Thapa, P., Choon Park, G., Lee, J., & Sung, G. K. (2019). A Comparative Study on VRLA and Li-ion Battery for Use in Frequency Modulation (FM) Station. *2019 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech)*. Lafayette, LA, USA,: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8767162>.
- Universidad Técnica Federico Santa María. (9 de noviembre de 2010). *Tecnología de las baterías*. Obtenido de Departamento de electrónica: <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/PresentacionBaterias.pdf>
- Yaoyao, A., Xiangjun, L., Xiaojuan, H., & Xuecui, J. (2018). Capacity Configuration and Economic Evaluation of Grid-Connected PV and Energy Storage Charging Station. *2018 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*. Tianjin, China: IEEE. Recuperado <https://ieeexplore.ieee.org/document/8592051>.
- Yoomak, S., & Ngaopitakkul, A. (2019). Feasibility Analysis of Different Energy Storage Systems for Solar Road Lighting Systems. *2019 IEEE/IAS 55th Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)*. Calgary, AB, Canada: IEEE. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8733381>.

ANEXOS

Anexo 1. Estudio de mercado para determinar la energía nominal requerida por la localidad.

La zona de estudio carece de información histórica en consumo de energía eléctrica dado que el uso de energía está limitado a su fuente primaria como son quemado de combustibles para iluminación o el uso de pilas o pequeñas baterías para el uso de linternas lámparas, por lo que la proyección de demanda se ha estimado en base a comparación de consumo del sector rural del Sistema Aislado de Tamshiyacu cuya información se ha recopilado de la empresa Concesionaria Electro Oriente S.A.

Tabla a1. *Tasas de crecimiento poblacional a nivel de distrito de Napo*

Año	Napo	
	Población	TC
2005	15 546	
2006	15 683	0.88%
2007	15 809	0.80%
2008	15 923	0.72%
2009	16 022	0.62%
2010	16 104	0.51%
2011	16 170	0.41%
2012	16 221	0.32%
2013	16 258	0.23%
2014	16 279	0.13%
2015	16 286	0.04%
	Promedio	0.47%

Nota.- Tasa de crecimiento de la población (TC) obtenido de la diferencia anual sobre el año anterior porcentualmente.

Fuente: Adaptado de INEI, 2018.

Tabla a2. *Proyección de la Población de la localidad*

Viviendas	Habitantes por vivienda	N° Habitantes
35	4.5	157
n	Año	Cant. Habitantes (H)
0	2018	157
1	2019	157
2	2020	158
3	2021	159
4	2022	159
5	2023	160
6	2024	161
7	2025	162
8	2026	163
9	2027	163
10	2028	164
11	2029	165
12	2030	166
13	2031	166
14	2032	167
15	2033	168
16	2034	169
17	2035	170
18	2036	170
19	2037	171
20	2038	172

Nota.- El cálculo de cantidad de habitantes (H) se realizó con la siguiente fórmula, redondeando al mínimo inferior: $H = 157(1 + TC)^n$.

Fuente: Adaptado de INEI, 2018.

Tabla a3. *Proyección de viviendas de la localidad*

N°	Año	N° Viviendas
0	2018	35
1	2019	35
2	2020	35
3	2021	35
4	2022	35
5	2023	36
6	2024	36
7	2025	36
8	2026	36
9	2027	36
10	2028	36
11	2029	37
12	2030	37
13	2031	37
14	2032	37
15	2033	37
16	2034	38
17	2035	38
18	2036	38
19	2037	38
20	2038	38

Nota.- El cálculo de número de viviendas se obtiene de la división entre el número de habitantes entre el habitantes por vivienda (4.5).

Fuente: Adaptado de INEI, 2018.

Tabla a4. Segmentación de consumos y cantidad lecturas con tarifa BT5R del Sistema Aislado de Tamshiyacu 2009 – 2017

Ítem	Sector de consumo (kWh - mes)	Rango de consumo (kWh - mes)	Cantidad de consumos mensuales	Porcentaje por sector	Rango de consumo acumulado (kWh - mes)	Cantidad de consumos mensuales por sector acumulado	Porcentaje por sector acumulado
1	5.00	<0:5>	8520	8.97%	<0:5>	8520	8.97%
2	10.00	[5:10>	8962	9.44%	<0:10>	17482	18.41%
3	15.00	[10:15>	7664	8.07%	<0:15>	25146	26.48%
4	20.00	[15:20>	7860	8.28%	<0:20>	33006	34.76%
4A	24.00	[20:24>	6742	7.10%	<0:24>	39748	41.86%
5	25	[25:25>	8500	8.65%	<0:25>	41506	43.71%
6	30.00	[25:30>	8235	8.67%	<0:30>	49741	52.38%
7	35.00	[30:35>	6738	7.10%	<0:35>	56479	59.47%
8	40.00	[35:40>	4795	5.05%	<0:40>	61274	64.52%
9	45.00	[40:45>	3309	3.48%	<0:45>	64583	68.01%
...
N	3210	[3205:3210>	1	0.00105%	<0: 3210>	94964	100.00%

Nota- Segmentación con 5 kWh de variación. Para la estimación del consumo unitario se utilizó el histórico de consumo eléctrico en el Sistema Aislado Tamshiyacu desde el año 2009 hasta el año 2017, debido a que el sistema aislado de referencia corresponde a un lugar con mayor desarrollo económico con respecto a la localidad del proyecto se procederá con la segmentación del consumo, se tiene en cuenta que para selva rural el porcentaje de población en pobreza está estimado en 41.4% (INEI, 2018) por lo cual para la estimación se tendrá en cuenta a aquellos pobladores que consuman hasta 24 kWh-mes (que representa el 41.86% de lotes para el año inicial).

Fuente: Adaptado de datos de Electro Oriente, 2018.

Tabla a5. *Consumos promedios mensuales con tarifa BT5R del Sistema Aislado de Tamshiyacu 2009 – 2017*

Mes	Tarifa BT5R	Consumos promedios de energía en tarifa BT5R con consumos >0 y <24kWh-mes								
		AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Enero	01	12.00	10.60	10.47	10.68	11.82	12.27	12.54	11.78	11.33
Febrero	02	7.50	10.32	10.57	10.15	11.67	12.05	12.09	11.39	10.73
Marzo	03	5.67	9.98	10.14	10.09	11.24	11.75	12.00	11.43	11.58
Abril	04	6.50	10.18	10.57	10.39	11.74	11.81	11.65	11.73	10.82
Mayo	05	6.20	10.44	11.23	10.81	12.09	11.74	12.09	11.58	11.79
Junio	06	5.77	10.54	11.21	10.68	11.46	10.76	11.98	11.95	11.38
Julio	07	6.53	11.13	11.19	11.10	11.85	11.44	11.92	11.59	11.39
Agosto	08	7.55	10.76	11.14	10.98	11.54	SD	11.77	10.99	11.67
Setiembre	09	7.74	10.55	11.30	10.89	12.00	SD	11.92	11.01	11.33
Octubre	10	6.94	10.66	11.28	10.91	12.01	SD	11.74	11.69	11.19
Noviembre	11	9.94	10.77	11.67	11.11	11.61	SD	11.72	11.30	11.66
Diciembre	12	10.07	10.59	11.15	10.71	11.77	SD	12.01	11.46	11.51
Promedio		7.70	10.54	10.99	10.71	11.73	11.69	11.95	11.49	11.36

Fuente: adaptado de datos históricos de Electro Oriente, 2018.

Tabla a6. *Consumo Unitario Doméstico promedio (kWh-mes/abonado)*

Mes	TARIFA BT5R	Consumos promedios de energía en tarifa BT5R con consumos >0 y <24kWh-mes								
		Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Promedio		7.70	10.54	10.99	10.71	11.73	11.69	11.95	11.49	11.36

Fuente: adaptado de datos históricos de Electro Oriente, 2018.

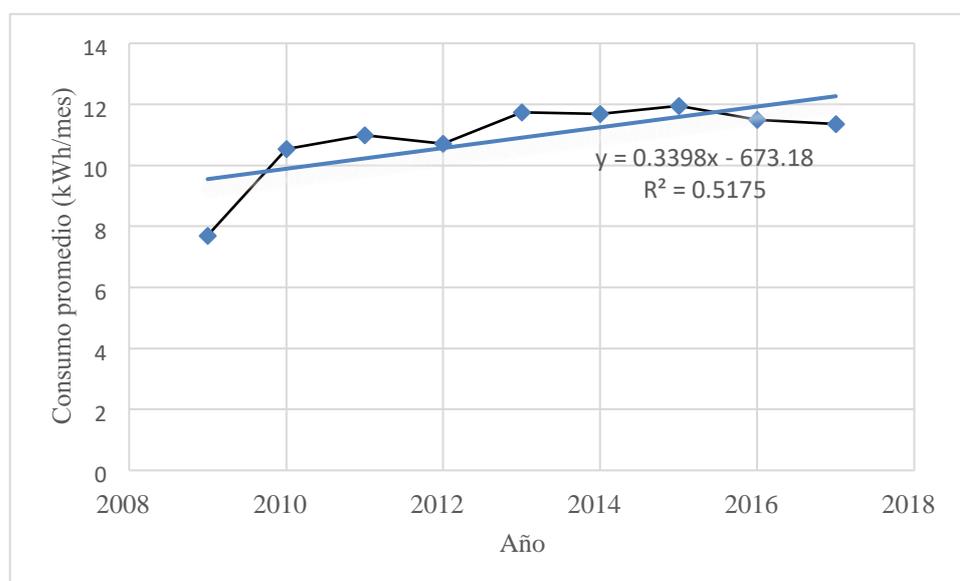


Figura a1. Proyección de la Demanda de consumo individual

Nota: El factor de crecimiento lineal es de 0.34 (pendiente)

Fuente: adaptado de datos históricos de Electro Oriente, 2018

Tabla a7. Proyección del Consumo Doméstico (kWh-mes/abonado)

	Históricos									Proyectado					
										Año -1	Año 0	Año 5	Año 10	Año 15	Año 20
Años 20	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	23	28	33	38	
kWhmes	7.7	10.5	10.9	10.7	11.7	11.6	11.9	11.4	11.3	12.5	14.2	15.9	17.6	19.3	
	7	4	9	1	3	9	5	9	6	4	4	3	3	3	

Fuente: adaptado de datos históricos de Electro Oriente (2018)

Tabla a8. *Cálculo de demanda de las cargas*

Ítem	Descripción	Calificación eléctrica (w)	Factor de simultaneidad	Demanda de las cargas
1	Viviendas	400	0.5	200
2	Locales públicos	500	1	500
3	Instituciones educativas	1000	1	1000
5	Alumbrado público	60	1	60

Nota: Se observa la relación entre local publico viviendas 1.25 (500/400) e instituciones educativas con viviendas es 2.5 (1000/400)

Fuente: adaptado de RUBELEC, 2018.

Tabla a9. *Distribución de abonados*

Locales (Tipo I)		Escuelas (Tipo I)	
Local comunal	Iglesia	I.E. Inicial	I.E. Primaria
2	1	1	1

Tabla a10. *Cálculo de puntos de iluminación*

Número de Usuarios	157
KALP	6.3
NHMAP	360
CMAP (kWh)	989.10
PPL (W)	60
Puntos de iluminación PI	45.00

Nota. Calculo según RD N° 017-2003-EM/DGE (Ver anexo 3)

Tabla a11 *Consumo por abonado mensual (kWh-mes)*

Periodo	Año	Domicilio	Tipo I	Tipo II	A.P.
-1	2017	11.36	14.20	28.40	21.60
0	2018	11.70	14.63	29.25	21.60
1	2019	12.04	15.05	30.10	21.60
2	2020	12.38	15.48	30.95	21.60
3	2021	12.72	15.90	31.80	21.60
4	2022	13.06	16.33	32.65	21.60
5	2023	13.40	16.75	33.50	21.60
6	2024	13.74	17.18	34.35	21.60
7	2025	14.08	17.60	35.20	21.60
8	2026	14.42	18.03	36.05	21.60
9	2027	14.76	18.45	36.90	21.60
10	2028	15.10	18.88	37.75	21.60
11	2029	15.44	19.30	38.60	21.60
12	2030	15.78	19.73	39.45	21.60
13	2031	16.12	20.15	40.30	21.60
14	2032	16.46	20.58	41.15	21.60
15	2033	16.80	21.00	42.00	21.60
16	2034	17.14	21.43	42.85	21.60
17	2035	17.48	21.85	43.70	21.60
18	2036	17.82	22.28	44.55	21.60
19	2037	18.16	22.70	45.40	21.60
20	2038	18.50	23.13	46.25	21.60

Tabla a12 *Consumo por abonado diario (kWh-día)*

Periodo	Año	Domicilio	Tipo I	Tipo II	A.P.
-1	2017	0.38	0.47	0.95	0.72
0	2018	0.39	0.49	0.98	0.72
1	2019	0.40	0.50	1.00	0.72
2	2020	0.41	0.52	1.03	0.72
3	2021	0.42	0.53	1.06	0.72
4	2022	0.44	0.54	1.09	0.72
5	2023	0.45	0.56	1.12	0.72
6	2024	0.46	0.57	1.15	0.72
7	2025	0.47	0.59	1.17	0.72
8	2026	0.48	0.60	1.20	0.72
9	2027	0.49	0.62	1.23	0.72
10	2028	0.50	0.63	1.26	0.72
11	2029	0.51	0.64	1.29	0.72
12	2030	0.53	0.66	1.32	0.72
13	2031	0.54	0.67	1.34	0.72
14	2032	0.55	0.69	1.37	0.72
15	2033	0.56	0.70	1.40	0.72
16	2034	0.57	0.71	1.43	0.72
17	2035	0.58	0.73	1.46	0.72
18	2036	0.59	0.74	1.49	0.72
19	2037	0.61	0.76	1.51	0.72
20	2038	0.62	0.77	1.54	0.72

Tabla a13 *Resumen periodo 20, año 2038*

Descripción	Cargas	Consumo
Abonados domésticos	38	0.62
Abonados comunales tipo I	3	0.77
Abonados comunales tipo II	2	1.54
Alumbrados públicos	45.00	0.72

Anexo 2. Parámetros para determinar la energía útil del sistema y el costo por dólar por unidad de energía sobre ciclo.

Tabla a14. *Parámetros de baterías*

Tipo de baterías	LFP	GEL
Voltaje (V)	48	12
Capacidad Nominal C10 (Ah)		260
Capacidad Nominal Wh	3552	
DOD	90.00%	50.00%
Corrección 35°C	1.20	1.375
ciclos 25°C	6000	750
Años de vida	16	2
Peso	32	74
marca	Ritar	Pylontech

Fuente: adaptado de Pylontech, 2020 y Ritar, 2021.

Tabla a15. *Otros parámetros*

Días autonomía	1.5
Eficiencia del inversor cargado	93.00%
Tensión del sistema (v)	48
Tipo de cambio de soles a un dólar	3.8
Temperatura media	27.0 °C
Temperatura máxima	34.0 °C
Temperatura mínima	19.0 °C

Fuente: adaptado de RUBELEC, 2018.

Anexo 3. Cálculo de alumbrado público según RD N° 017-2003-EM/DGE

La cantidad de puntos de iluminación en una localidad se debe determinar con el procedimiento mostrado a continuación:

1. Se determina un consumo de energía mensual por alumbrado público de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$CMAP = KALP * NU$$

Donde:

CMAP: Consumo mensual de alumbrado público en KWH

KALP: Factor de AP en KWH/usuario -mes

NU: Número de usuarios

KALP=3,3 (Sector Típico 4) Para una Localidad como Flor del Mayo

2. Para calcular el número de puntos de iluminación se debe considerar una potencia promedio de lámpara de alumbrado público y el número de horas de servicio mensuales de alumbrado público (NHMAP). Se aplica la siguiente fórmula.

$$PI = \frac{(CMAP * 1000)}{(NHMAP * PPL)}$$

Donde:

PI: Puntos de iluminación

CMAP: Consumo mensual de alumbrado público en kWh/mes.

NHMAP: Número de horas mensuales del servicio alumbrado público en kWh.

PPL: Potencia nominal promedio de la lámpara de alumbrado público en watt.

Anexo 4. Especificaciones de las baterías de LFP de la marca Pylontech



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

Nota.- El modelo seleccionado en el proyecto es US3000 (mayor capacidad). De la

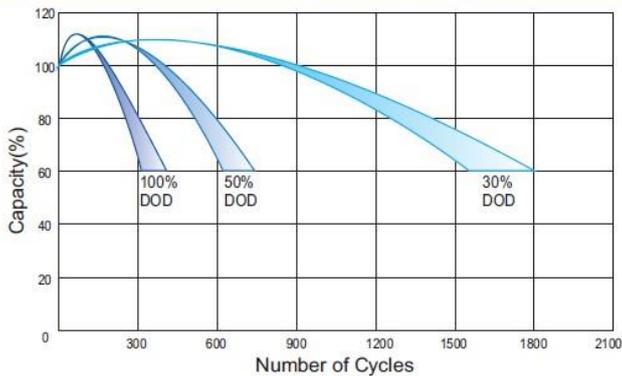
$$tabla \ se \ obtiene: DOD = \frac{usable \ capacity \ (Wh)}{Nominal \ Capacity \ (Wh)} = \frac{3200}{3552} = 90\%$$

Fuente: Pylontech, 2020

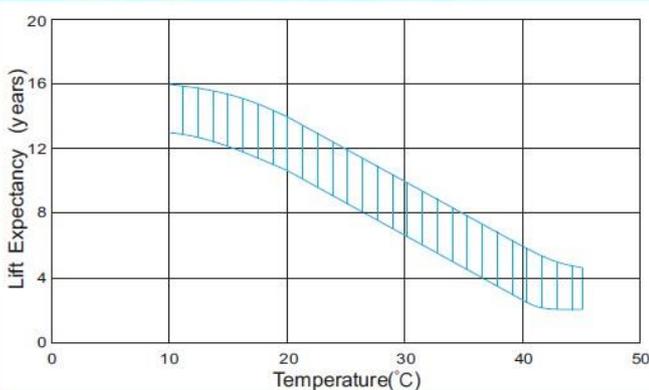
Anexo 5. Especificaciones de las baterías Gel de la marca Ritar

Voltage Per Unit	12
Capacity	260Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C
Weight	Approx. 74.0 Kg (Tolerance ± 1.5%)
Internal Resistance	Approx. 3.5 mΩ
Terminal	F14(M8)
Max. Discharge Current	2600A (5 sec)
Design Life	12 years (floating charge)
Maximum Charging Current	78.0 A
Reference Capacity	C3 201.3AH C5 229.0AH C10 260.0AH C20 274.0AH
Float Charging Voltage	13.6 V~13.8 V @ 25°C Temperature Compensation: -3mV/°C/Cell
Cycle Use Voltage	14.6 V~14.8 V @ 25°C Temperature Compensation: -4mV/°C/Cell
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C~60°C Charge: 0°C~50°C Storage: -20°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C ± 5°C

Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



Effect of Temperature on Long Term Life



Fuente: Ritar, 2021.

Anexo 6. Costo de la tecnología de las baterías Gel y LFP.

 Batería RITAR 12V 260Ah DG GEL



S/.2.540,28 SIN IGV
S/. 2.152,78 ☆☆☆☆☆

Envío: Envío gratuito a provincias!

Entrega: **Recójalo el miércoles 2 de marzo en agencia Marvisur o Shalom de provincias** >

Fabricante: Ritar | Cod. Artículo: 1704434

Cantidad: - 1 +

AÑADIR AL CARRITO **COMPRAR**

 Batería Litio 3.5kWh Pylontech US3000 48V



S/.10.947,14 SIN IGV
S/. 9.277,24 ☆☆☆☆☆

Envío: Envío gratuito a provincias!

Entrega: **Recójalo el lunes 10 de mayo en agencia Marvisur o Shalom de provincias** >

Fabricante: Pylontech | Cod. Artículo: 1880904

Cantidad: - 1 +

AÑADIR AL CARRITO **COMPRAR**

Fuente: Autosolar, 2021.

Anexo 7. Matriz de consistencia

Título: “Estudio comparativo entre baterías Gel y LFP, proyecto fotovoltaica off grid - distrito Napo 2020.” Tabla a16. *Matriz de consistencia del estudio.*

Problema / Hipótesis	Objetivos	Variable	Dimensión	Indicador	Técnica	Instrumentos	Metodología
¿El estudio comparativo entre Baterías Gel y LFP, proyecto fotovoltaica off grid - distrito Napo 2020, permitirá seleccionar la	El objetivo general de la investigación es de realizar el estudio comparativo entre Baterías Gel y LFP, proyecto fotovoltaica off grid - distrito Napo 2020. Los objetivos específicos :	Batería de gel y batería de LFP	energía nominal requerida	Energía incidente (kWh/m2.dia)	Recopilación y análisis de datos secundarios	Anexo 1. Estudio de mercado para determinar la energía nominal requerida por la localidad.	Enfoque cuantitativo del tipo descriptivo, de diseño no experimental del tipo transeccional descriptivo: M1 O1
			energía útil del sistema	Potencia unitaria incidente (kW/m2.dia)			
			DOD	Temperatura máx. / min.(°C)			

<p>mejor tecnología de baterías técnica y económicamente? el estudio comparativo entre Baterías Gel y LFP, permitirá seleccionar técnica y económicamente la batería adecuada para el proyecto fotovoltaica off grid - distrito Napo 2020.</p>	<p>Determinar la energía nominal requerida por la localidad en base a un estudio de mercado.</p> <p>Determinar la energía útil del sistema de baterías en función del DOD disponible por tecnología Gel y LFP.</p> <p>Determinar el costo por dólar por unidad de energía sobre ciclo de carga y descarga (\$/kWh/ciclo) de cada tecnología de batería Gel y LFP, mostrando el ahorro económico.</p> <p>Determinar el valor actual neto de cada tecnología para seleccionar la tecnología con mayor rentabilidad</p>		<p>Ahorro por unidad de energía por ciclo</p>	<p>\$/kWh.ciclo</p>		<p>Anexo 2. Parámetros para determinar la energía útil del sistema y el costo por dólar por unidad de energía sobre ciclo.</p>	<p>M2 O2</p> <p>Donde:</p> <p>M1: Diseño batería Gel, proyecto fotovoltaica</p> <p>O1: Observaciones batería Gel, proyecto fotovoltaica</p> <p>M2: Diseño batería LFP, proyecto fotovoltaica</p> <p>O2: Observaciones batería LFP, proyecto fotovoltaica</p>
			<p>Rentabilidad</p>	<p>Menor S/.VAN</p>			