

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**Gestión eficiente del despacho de generación de la central eólica  
Cupisnique mediante el respaldo de un sistema BESS.**

**Tesis para obtener el Título Profesional de  
Ingeniero en Energía**

**AUTORES :**

Bach. Gambini Diaz, Bruno André  
Bach. Obeso de la Cruz, Christian Aldair

**ASESOR :**

Dr. Mariños Castillo, Gualberto Antenor  
DNI 17890841  
Código ORCID: 0000-0001-7514-9908

Nuevo Chimbote-Perú

2024

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

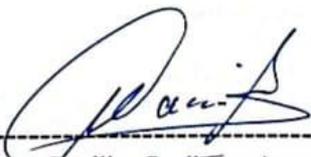
La presente Tesis para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (Resolución N°580-2022-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero en  
Energía

Gestión eficiente del despacho de generación de la central eólica Cupisnique mediante  
el respaldo de un sistema BESS.

Autores :

Bach. Gambini Diaz, Bruno André  
Bach. Obeso de la Cruz, Christian Aldair



-----  
Dr. Mariños Castillo, Gualberto Antenor  
Asesor  
DNI 17890841  
Código ORCID: 0000-0001-7514-9908



## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA E.P. INGENIERÍA EN ENERGÍA

### ACTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

El presente jurado evaluador da la conformidad del presente informe, desarrollado en el cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al reglamento General para obtener el grado Académico de Bachiller y Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (R.D N°580-2022-CU-R-UNS); titulado:

Efecto del cambio de motocompresores por electrocompresores en el desempeño energético de Astillero Ferroles

Autores:

Bach. Gambini Díaz, Bruno André  
Bach. Obeso de la Cruz, Christian Aldair

Revisado y evaluado por el siguiente Jurado Evaluador.

  
.....  
MSc. Escate Ravello, Julio Hipólito Nestor  
Presidente  
Código ORCID: 0000-0001-9950-2999  
DNI 32850228

  
.....  
Mg. Guevara Chinchayán, Robert Fabian  
Secretario  
DNI 32788460  
Código ORCID: 0000-0002-3579-3771

  
.....  
Dr. Mariños Castillo, Gualberto Antenor  
Integrante  
DNI 17890841  
Código ORCID: 0000-0001-7514-9908

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 10:00 a.m., del día lunes 23 del mes de diciembre del año dos mil veinticuatro, en el Aula E-3 de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, en cumplimiento al Art. 68 del Reglamento General de Grados y Títulos, aprobado con Resolución N°337-2024-CU-R-UNS de fecha 12.04.24, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 633-2024-UNS-CFI de fecha 01.10.24, integrado por los siguientes docentes:

- M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello : Presidente
- Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán : Secretario
- Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo : Integrante

Y según la Resolución Decanal N°803-2024-UNS-FI de fecha 03.12.24., se DECLARA EXPEDITO a los bachilleres para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis, titulada: "GESTIÓN EFICIENTE DEL DESPACHO DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL EÓLICA CUPISNIQUE MEDIANTE EL RESPALDO DE UN SISTEMA BESS", perteneciente a los bachilleres: GAMBINI DÍAZ BRUNO ANDRÉ, con código de matrícula N°0201511043 y OBESO DE LA CRUZ CHRISTIAN ALDAIR, con código de matrícula N°0201511031, teniendo como asesor al docente Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo, según Resolución Decanal N°235-2023-UNS-FI de fecha 04.05.23.

Terminada la sustentación del bachiller, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 73° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
OBESO DE LA CRUZ CHRISTIAN ALDAIR	DIECIOCHO(18)	BUSNE

Siendo las 11:00 a.m. del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello  
PRESIDENTE

Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán  
SECRETARIO

Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo  
INTEGRANTE

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 10:00 a.m., del día lunes 23 del mes de diciembre del año dos mil veinticuatro, en el Aula E-3 de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energía, en cumplimiento al Art. 68 del Reglamento General de Grados y Títulos, aprobado con Resolución N°337-2024-CU-R-UNS de fecha 12.04.24, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 633-2024-UNS-CFI** de fecha 01.10.24, integrado por los siguientes docentes:

- M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello : Presidente
- Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán : Secretario
- Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo : Integrante

Y según la **Resolución Decanal N°803-2024-UNS-FI** de fecha 03.12.24., se **DECLARA EXPEDITO** a los bachilleres para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis, titulada: **"GESTIÓN EFICIENTE DEL DESPACHO DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL EÓLICA CUPISNIQUE MEDIANTE EL RESPALDO DE UN SISTEMA BESS"**, perteneciente a los bachilleres: **GAMBINI DÍAZ BRUNO ANDRÉ**, con código de matrícula N°0201511043 y **OBESO DE LA CRUZ CHRISTIAN ALDAIR**, con código de matrícula N°0201511031, teniendo como asesor al docente **Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo**, según Resolución Decanal N°235-2023-UNS-FI de fecha 04.05.23.

Terminada la sustentación del bachiller, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 73° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
GAMBINI DÍAZ BRUNO ANDRÉ	Distinción (18)	BUENO

Siendo las 11:00 a.m. del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

  
M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello  
PRESIDENTE

  
Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayán  
SECRETARIO

  
Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo  
INTEGRANTE



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Bruno Andre Gambini Diaz  
Título del ejercicio: INFORMES  
Título de la entrega: Gestión eficiente del despacho de generación de la central e...  
Nombre del archivo: TESIS\_GAMBINI\_OBESO.pdf  
Tamaño del archivo: 2.21M  
Total páginas: 132  
Total de palabras: 44,951  
Total de caracteres: 195,120  
Fecha de entrega: 17-ene.-2025 04:31 a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2565852786



## Gestión eficiente del despacho de generación de la central eólica Cupisnique mediante el respaldo de un sistema BESS

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>19%</b>	<b>19%</b>	<b>2%</b>	<b>%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.uns.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>8%</b>
<b>2</b>	<b>www.bivica.org</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>www.enlight.mx</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>idoc.pub</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>5</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.unac.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>www.osinergmin.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>ninive.ismm.edu.cu</b> Fuente de Internet	

*DEDICATORIA*

*A mis queridos padres,  
por su amor y ejemplo.  
Para mi esposa Kristel, mi compañera de vida  
Por su apoyo y cariño de todos los días*

*Bruno André Gambini Diaz*

*DEDICATORIA*

*A mis padres, Sr. Segundo Obeso Rojas y*

*Sra. Julia De la cruz Fajardo*

*Para mis hermanos*

*Elizabeth Abigail Obeso De la cruz*

*Heyner Solary Obeso De la cruz*

*Por su invaluable apoyo.*

*Christian Aldair Obeso de la Cruz*

## *AGRADECIMIENTO*

*Mi gratitud al Dr. Antenor Mariños  
por su apoyo en la culminación  
de mi tesis.*

*A mis profesores  
de la Escuela profesional de  
Ingeniería en Energía  
por sus enseñanzas.*

*Bruno André Gambini Diaz*

## *AGRADECIMIENTO*

*Mi agradecimiento  
al Dr. Antenor Mariños  
por su asesoría en este trabajo  
de investigación, con el cual  
culmino mi carrera profesional.*

*Christian Aldair Obeso de la Cruz*

## Índice General

### Índice General

#### Resumen

I	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Realidad Problemática	1
1.2	Antecedentes	2
1.3	Justificación	5
1.4	Hipótesis	6
1.5	Objetivos	6
II.	MARCO TEÓRICO	7
2.1	Despacho de generación	7
2.2	Centrales Eólicas	19
2.3	Operación de centrales eólicas	26
2.4	Sistemas BESS	34
III.	MATERIAL Y MÉTODO	45
3.1	Material	45
3.2	Método	49
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
4.1	Caracterización de la central eólica	54
4.2	Caracterización del sistema de almacenamiento BESS	58
4.3	Dimensionamiento del sistema BESS	75
4.4	Discusión de resultados	80
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
5.1	Conclusiones	83
5.2	Recomendaciones	84
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
VII.	ANEXOS	91

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Agentes de un sistema Eléctrico de Potencia	8
Figura 2 Asignación del despacho de generación	10
Figura 3 Componentes del predespacho de generación	12
Figura 4 Componentes de costos de generadores	14
Figura 5 Central de ciclo combinado de Kallpa-Central de base	15
Figura 6 Central Eólica Wayra I-Central de base	16
Figura 7 Banda de frecuencia donde operan las centrales de regulación	17
Figura 8 Central de reserva fría de Puerto Maldonado	18
Figura 9 Central Eólica de Cupisnique	19
Figura 10 Principales elementos de un generador de eje horizontal.	21
Figura 11 Esquema de un generador síncrono de velocidad variable con Rotor de imán permanente.	23
Figura 12 Aerogenerador de velocidad fija con generador asíncrono	24
Figura 13 Diagrama de carga típico de Central Eólica de Cupisnique del 01.04.2023	29
Figura 14 Hueco de tensión	30
Figura 15 Velocidad del viento y generación eólica mensual en Chile	32
Figura 16 Sistema de BESS para sistemas de potencia	36
Figura 17 BESS con componentes	37
Figura 18 Gestión del rasurado de picos	41
Figura 19 Aerogenerador de central Eólica de Cupisnique	45
Figura 20 Diagrama Unifilar Central Eólica de Cupisnique	46
Figura 21 Diagrama de generación 30.10.2023 Central Eólica de Cupisnique	48
Figura 22 Diagrama de generación 20.10.2023 Central Eólica de Cupisnique	48
Figura 23 Diagrama de generación 10.10.2023 Central Eólica de Cupisnique	49
Figura 24 Diagrama de máxima generación de abril-2024 Central Eólica de Cupisnique	54
Figura 25 Diagrama de mínima generación de abril-2024 Central Eólica de Cupisnique	55
Figura 26 Diagrama de generación cercano al valor de la mediana de abril-2024 Central Eólica de Cupisnique	56
Figura 27 Análisis estadístico de factor de carga para el periodo de 1 año	57
Figura 28 Curva normal estadística del factor de carga para el periodo de 1 año.	57

Figura 29 Planeamiento de la operación de la central eólica-día de máxima producción abril 2024.	59
Figura 30 Planeamiento de la operación de la central eólica-día 10.04.2024.	60
Figura 31 Planeamiento de la operación de la central eólica-día 29.04.2024	61
Figura 32 Planeamiento de la operación de la central eólica-día 29.04.2024	62
Figura 33 Planeamiento de la operación de la central eólica-día 18.04.2024	63
Figura 34 Planeamiento de la operación eficiente de la central eólica-día 15.04.2024-Mediana	65
Figura 35 Potencia total inyectada de la central eólica-día 15.04.2024-Mediana	65
Figura 36 Planeamiento de la operación eficiente de la central eólica-día 10.04.2024-Mediana del mes abril	66
Figura 37 Potencia total inyectada de la central eólica-día 10.04.2024-Potencia 71,85 MW	67
Figura 38 Planeamiento de la operación eficiente de la central eólica-día 29.04.2024-Mediana del mes abril	68
Figura 39 Potencia total inyectada de la central eólica-día 29.04.2024-Potencia 71,85 MW	69
Figura 40 Planeamiento de la operación eficiente de la central eólica-día 19.04.2024-Mediana del mes abril	70
Figura 41 Potencia total inyectada de la central eólica-día 19.04.2024-Potencia 71,85 MW	70
Figura 42 Planeamiento de la operación eficiente de la central eólica-día 18.04.2024	71
Figura 43 Potencia total inyectada de la central eólica-día 18.04.2024	72
Figura 44 Benchmarking entre casos de almacenamiento de energía en BESS	73
Figura 45 Benchmarking entre casos de Potencia máxima de almacenamiento de BESS	74
Figura 46 Benchmarking entre casos de Potencia máxima de inyección de BESS	75

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Soluciones de funcionamiento del rotor a velocidad variable	25
Tabla 2 Información Técnica de Central Eólica de Cupisnique	45
Tabla 3 Información Relevante de Central Eólica de Cupisnique	46
Tabla 4 Información Comercial de Central Eólica de Cupisnique	47
Tabla 5 Generación de energía en GWh/mes 2023-2018	47
Tabla 6 Resultados de Casos analizados-potencia máxima constante	64
Tabla 7 Resultados de Casos analizados según gestión eficiente	72
Tabla 8 Parámetros de los BESS	77
Tabla 9 Características técnicas de Inversores	78
Tabla 10 Parámetros de los transformadores de BT dos devanados de cada BESS	79
Tabla 11 Parámetros de red en MT de 30 Kv	80

## RESUMEN

El presente informe de tesis tiene por objetivo determinar los parámetros de un sistema BESS que permita realizar la gestión eficiente del despacho de generación de la central eólica Cupisnique. Esto debido a la variabilidad de la operación de la central eólica ante un inestable recurso energético, en este caso el viento.

La muestra de estudio es la Central Eólica de Cupisnique de 83,25 MW ubicado en el departamento de la libertad, la cual cuenta con un factor de carga variable.

Se determinó que el modelo de gestión eficiente del despacho de la central eólica, del cual se analizaron 05 casos (en función a valores del factor de carga típicos dentro de los valores de los percentiles estadísticos), obteniéndose un mejor desempeño de la central eólica, siendo los valores para el dimensionamiento del sistema BESS: 61,28 MWh de energía almacenada, 22,94 MW la potencia máxima de almacenamiento y 15,32 MW la potencia máxima de inyección del sistema BESS.

Del mismo modo se dimensiono el sistema BESS en función a valores comerciales, tomándose un modelo con 23 unidades BESS de 1,25 MW y 3,727 MWh de capacidad nominal en el año 0 (Beginning of Life - BoL). Con un total de 28,25 MW y 85,72 MWh. Las baterías con 80% de profundidad de descarga y 90% de eficiencia. Cada unidad cuenta con un inversor bidireccional con 99% de eficiencia y transformador elevador desde 1,5 kV/30 KV. Conectándose en conjunto luego a la SE Cupisnique de 220 kV.

**PALABRA CLAVE:** Gestión energética, Central Eólica, Sistema BESS.

## ABSTRACT

The objective of this thesis report is to determine the parameters of a BESS system that allows efficient management of the generation dispatch of the Cupisnique wind power plant. This is due to the variability of the operation of the wind power plant in the face of an unstable energy resource, in this case the wind.

The study sample is the Cupisnique Wind Power Plant of 83.25 MW located in the department of Libertad, which has a variable load factor.

It was determined that the efficient management model for the dispatch of the wind power plant, of which 05 cases were analyzed (based on typical load factor values within the values of the statistical percentiles), obtaining better performance of the wind power plant, The values for the sizing of the BESS system being: 61.28 MWh of stored energy, 22.94 MW the maximum storage power and 15.32 MW the maximum injection power of the BESS system.

In the same way, the BESS system was sized based on commercial values, taking a model with 23 BESS units of 1.25 MW and 3.727 MWh of nominal capacity in year 0 (Beginning of Life - BoL). With a total of 28.25 MW and 85.72 MWh. Batteries with 80% depth of discharge and 90% efficiency. Each unit has a bidirectional inverter with 99% efficiency and a step-up transformer from 1.5 kV/30 KV. Connecting together then to the 220 kV SE Cupisnique.

**KEYWORD:** Energy management, Wind Power Plant, BESS System.

## **I. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 Realidad problemática.**

Las plantas eólicas representan un recurso renovable que ha entrado con alto grado de penetración para reemplazar a las fuentes convencionales de producción de energía como lo son en el Perú a las centrales térmicas que operan con gas natural (que dan la sostenibilidad del sistema eléctrico) y petróleo Diesel B5 (que operan en condición de reserva de muy alto costo de operación). A variabilidad del recurso eólico, es un problema que arrastra la construcción de las centrales eólicas, sea en el lugar que se ubique del mundo existe un alto grado de probabilidad de la variabilidad de la velocidad del viento y su dirección. Para el Perú el factor de carga promedio de las centrales eólicas es 0,54, información obtenida del COES-SINAC Perú (2023). Lo que resulta que pueden operar a diversas potencias en distintos periodos de tiempo consecutivos. Lo que trae como resultado la desconexión de la carga, esto es de relevante importancia si se tiene en cuenta que la producción de energía generada por las plantas eólicas es significativo, con lo cual el sistema eléctrico presenta distorsiones en el valor de frecuencia y es mucho más grave su efecto cuando la operación es intermitente en su potencia, con lo cual el control de tensión y frecuencia de las instalaciones presentan un costo significativo en la inversión.

La Central Eólica de Cupisnique ubicada en la Provincia de Pacasmayo entro en operación comercial al SEIN año 2014 como resultado de la 1 subasta RER con potencia instalada de 83,15 MW. El 2022 genero 302,95 GWh, lo que representa un factor de carga de 42,7% (Osinermin, 2023). Pero en reportes del COES en ciertos días del año ha alcanzado picos de potencia de 81 MW, lo que hace suponer que en otros instantes de tiempo ha alcanzado valores mucho menores, todos estos valores uno diferente de otro, lo cual de algún modo congestiona o causa depresión en la red de transmisión y en zonas cercanas a la central de generación. Sería muy distinta la situación de despacho si la potencia de generación fuese fija las 24 horas del día, con lo cual no seria necesario tener un sistema que permita la gestión eficiente de la generación.

Como parte de la presente investigación se plantea el problema:

¿Cuáles son los parámetros de un Sistema BESS que permita el respaldo de la gestión eficiente del despacho de generación de la Central Eólica Cupisnique?

## 1.2 Antecedentes:

Se presenta los antecedentes internacionales de la tesis:

Arce, J. (2022) en su tesis Evaluación técnica y económica de los sistemas de almacenamiento de energía con baterías para su aplicación en la regulación primaria de frecuencia en una central hidráulica de embalse del Sistema Eléctrico Peruano en la Universidad Tecnológica del Perú plantea como objetivo realizar el análisis técnico y económico en los Sistemas de Almacenamiento de Electricidad mediante Baterías aplicado en la regulación primaria de frecuencia para una Central Hidráulica de embalse perteneciente al SEIN y concluye que la tecnología de Almacenamiento de Energía con Baterías, con siglas Batey Energy Storage System (BESS) tiene un amplio uso en la regulación primaria de frecuencia, debido a su alta capacidad de almacenar energía en acumuladores y además por su veloz respuesta con la cual inyecta energía ante un déficit de esta en una red eléctrica, aunque sus costos aún son elevados, esto no significado su mayor demanda en su utilización. En el presente estudio presenta resultados favorables durante su operación en paralelo con una central hidroeléctrica de 280 MW.

Gómez, M. (2018) en su tesis Planeamiento de la expansión usando sistemas de almacenamiento de energía en la Universidad tecnológica de Pereira en Colombia tiene como objetivo el planteamiento de un modelo matemático de programación lineal entera mixta para la solución de un problema de crecimiento de las líneas de transmisión de energía eléctrica, de costo mínimo, empleando almacenadores de energía BESS, concluye que la integración de dispositivos de almacenamiento de gran capacidad en el problema de planificación de largo plazo para una red de transmisión, se obtienen beneficios económicos debido a que retrasan las inversiones a un periodo de estabilidad. En las evaluaciones realizadas en el Sur de Brasil se tuvieron como resultados la disminución de inversiones en 12% para el escenario de menor costo y del 1.7% para el escenario de máyor costo. Como conclusión principal se confirma que se obtiene ahorros económicos con la implementación de un BESS para mejorar el desempeño de una red de transmisión. Los resultados presentan una masividad en uso de los BESS cuando disminuyan sus costos, permitiendo un mejor desempeño de la gestión del despacho de generación.

Gutiérrez, S. & Palacios, J. (2022) en su investigación Reemplazo de una central térmica por una central RER. en el sistema de generación de energía del Perú para la Universidad Nacional del Santa tienen como objetivo determinar los efectos de la sustitución de una central térmica convencional por una generadora RER en la cobertura de la demanda de energía, concluyen que el reemplazo de la generación de energía para una central térmica turbo gas de ciclo simple de 1 038,9 MWh, implica la implementación de una central eólica que inyecta 1 038,9 MWh a la red reemplazando la operación de la central termoeléctrica e inyecta 330,1 MWh de forma directa a la red eléctrica pero con un flujo de potencia variable que afecta a la red. Este flujo de potencia debe ser estabilizado mediante el uso de un BESS.

Maluenda, M. (2022) en su tesis Programación de operación óptima de un sistema PV-BESS-Electrolizador para producción de hidrógeno y regulación de frecuencia. en la Pontificia Universidad Católica de Chile plantea como objetivo la evaluación de la programación óptima de operación de un sistema PV-BESS-Electrolyzer para producción de hidrógeno, concluye que el surgimiento de plantas de producción de hidrógeno verde que utilizan configuraciones de suministro de energía híbrida impulsa el desarrollo de estrategias de operación para maximizar las ganancias mientras se logran los objetivos de producción y se brindan servicios de red. Ante los problemas en Chile por indisponibilidad de energía solar y energía desplegada para la regulación de frecuencia, se propone un modelo estocástico con restricciones de probabilidad para la programación de operaciones diarias e intradiarias de un sistema PV-BESS-Electrolyzer que participa en la energía del día siguiente y en tiempo real y mercados de servicios auxiliares. Se utiliza un enfoque basado en escenarios para considerar adecuadamente las fuentes de incertidumbre, gestionar el riesgo mediante el ajuste de parámetros y el impacto de la operación del BESS.

Maza, J. & Pérez, M. (2022) en su tesis Almacenamiento de energía eléctrica en la central fotovoltaica de Moquegua y su inyección en hora de máxima demanda del SEIN en la Universidad Nacional del Santa plantearon como objetivo: la determinación del efecto de inyectar energía almacenada en la CSFV Moquegua en hora de mayor demanda en el SEIN, concluyen que el diseño del BESS se realiza en concordancia con la mediana de los valores de generación de energía, el cual es 113,77 MWh. (para la información de junio 2021) con una potencia de 20 MW y 138,88 MWh, según el cumplimiento de lo detallado en contrato según 2° subasta

RER, lo cual permite inyectar 80 MWh en las horas punta, lo cual puede generar una desviación de frecuencia del orden de 0,23 % o inyectar 113,77 MWh con una desviación 0,35 %, siendo necesario el incremento de potencia desde 20 a 30 MVA.

Navarro, F. (2019) en su tesis Análisis de la factibilidad de la integración de BESS con centrales fotovoltaicas en la Universidad de Chile, plantea como objetivo realizar una evaluación técnico-económica de la integración entre sistemas BESS con una central fotovoltaica para hallar la mejor arquitectura de generación con una alta rentabilidad, concluye que la variable que genera una mayor incertidumbre en la evaluación del proyecto para el escenario estudiado es la demanda de generación comprometida de la central la cual debe estar compensada por la operación del BESS, para lo cual su capacidad de almacenamiento y descarga resultan variables intervinientes. Se requiere necesario un marco normativo técnico para la operación del BESS durante su operación coordinada con el sistema eléctrico exterior de tal manera que pueda cumplir su función de generación de energía rápida para evitar las caídas de frecuencia por falta de generación de la central solar.

Parada, D. (2018) en su tesis Aplicaciones técnicas y económicas de los BESS en centrales eólicas y solares fotovoltaicas en el sistema de generación chileno en la Universidad de Chile, tiene como objetivo evaluar técnico y económicamente un BESS acoplado a la operación de una central de generación solar fotovoltaica y eólica operando en conjunto dentro del sistema eléctrico chileno, concluye que los elevados precios de las instalación durante la etapa de inversión de las baterías de ion litio sumada a la alta potencia y capacidad de almacenamiento, generan un valor inicial de capital muy elevado. Con lo cual la rentabilidad según el horizonte de simulación es muy corta para cubrir la inversión. Pero se estima una central fotovoltaica con capacidad para almacenar del tipo BESS será más competitiva para almacenar energía durante siete horas para 2021 y hasta 15 horas en el año 2026. LO cual permitirá una masificación de su empleo como unidades de respaldo para centrales de generación renovables con producción variable.

Thornton, F. (2018) en su tesis Evaluación técnica del incremento posible en la generación eólica en el Sistema Mediano de Punta Arenas, empleando BESS y emulación de inercia en Universidad Técnico Federico Santa María en Chile, tiene por objetivo el estudio del impacto de la incorporación de control de emulación de inercia para la estabilidad del sistema eléctrico de Punta Arenas, concluye que el

empleo de BESS para respaldar la operación de centrales eólicas con generación de energía variable debido a variación del recurso.

Esto implicara la coordinación de las turbinas eólicas con los sistemas BESS, durante los periodos de máxima y mínima generación, estableciéndose una base de generación media para el cumplimiento de la operación. Esta operación del BESS permite apoyar la estabilidad de la red electrica, y evita la segunda depresión provocada por la disminución de la potencia inyectada por la central eólica.

### **1.3 Justificación.**

La justificación es la siguiente:

Es de vital importancia para evaluar los sistemas eólicos respaldados con sistemas de almacenamiento de energía de gran capacidad BESS, los que pueden encargarse de garantizar una adecuada regulación de frecuencia así como el aseguramiento de un despacho controlado de los recursos eólicos, sujetos a variabilidad de generación. Con lo cual se podría tener los inicios de estudios posteriores y de implementación en la cual el almacenamiento de rápida respuesta inyecta energía a la red en forma instantánea luego de ser identificada una perturbación eléctrica y respaldan a la generación de energía durante la activación de los componentes de regulación primaria de un sistema eléctrico de potencia.

La inserción de sistemas de almacenamiento de energía BESS en los sistemas eléctricos asociadas a la generación como sistema de gestión del despacho, se propone mejorara la confiabilidad y disponibilidad de los sistemas de generación interconectados o autónomos con sistemas RER. El almacenamiento de energía es de vital importancia en la regulación del suministro de energía a partir de fuentes de energías renovables con generación o producción variable. Como parte de las tecnologías emergentes de alta eficiencia que se incorporan en los mercados eléctricos están los BESS representan la mejor alternativa como unidades de respaldo ante generación variable de energía. Los BESS convierten energía eléctrica de naturaleza de corriente alterna, a partir de una fuente de alimentación, para emplearse en los casos de déficit o exceso de energía en un sistema eléctrico. Además, mediante un sistema de gestión eficiente de despacho se podrá generar a potencia constante (menor a la actual potencia efectiva) que no afecte o distorsione la operación de la red de transmisión.

#### **1.4 Hipótesis.**

Mediante la determinación de los parámetros de un sistema BESS se conseguirá una gestión eficiente en el despacho de generación de la Central Eólica Cupisnique.

#### **1.5 Objetivos.**

##### **Objetivo general**

Determinar los parámetros de un sistema BESS que permita realizar la gestión eficiente del despacho de generación de la central eólica Cupisnique.

##### **Objetivos específicos:**

- Caracterizar el desempeño de la Central Eólica de Cupisnique.
- Identificar los valores de características de operatividad conjunta de la Central Eólica con el Sistema BESS.
- Dimensionar el sistema BESS para la gestión eficiente del despacho de generación de la Central Eólica de Cupisnique.

## **II. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 Despacho de generación.**

La generación de energía tiene por fundamento consiste, en la transformación de un recurso energético en potencia efectiva útil en un alternador. Esto ocurre en un conjunto de etapas secuencias de conversión energética. Los recursos energéticos a transformar pueden ser convencionales o convencionales, o de naturaleza renovable o no renovable, con lo cual se clasificarán las centrales de generación. (Diaz, 2017)

Según el tipo de central de generación se tiene una estructura de costos y características de operación, en función a lo siguiente:

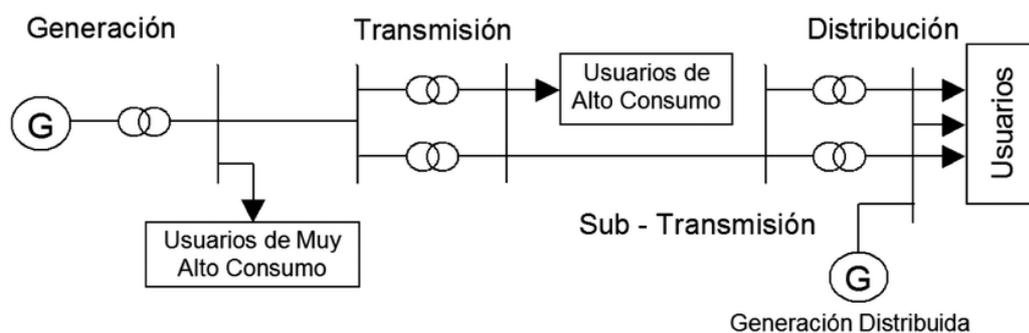
- Según el sistema de generación de energía y sus condiciones de operación, estas presentan características técnicas para el despacho según el requerimiento específico de la demanda, así tenemos que para ciertas situaciones es recomendable su operación. Básicamente la limitante es el recurso energético disponible que le permite operar eficientemente cuando se la requiera.
- Para cada tipo de central de generación existe una particularidad de comportamiento en la gestión del despacho, el cual teóricamente debe ser eficiente, y debe aportar las condiciones de confiabilidad, seguridad y calidad en el instante que deba cubrir con la cobertura de la demanda. (Diaz, 2017)

Existen centrales de generación de energía que presentan altos costos variables de operación, pero con costos fijos mínimos, y también existen centrales que su estructura de costos es a la inversa. En este caso las tecnologías de generación con recursos renovables solar y eólica, tienen la particularidad de presentar altos costos de inversión, y sus costos de operación son relativamente bajos, debido a que no dependen de un recurso energético como el combustible, el cual tiene un costo, sometido a variaciones de mercado. Otro detalle relevante de la generación son los costos por almacenamiento que involucra almacenar agua en presas para centrales hidroeléctricas, lo que involucra altos costos en obras civiles e impacto al medio ambiente, o como lo que poseen las centrales termoeléctricas de reserva que requieren tanques de grandes volúmenes de combustible, como garantía de su operación. Aunque se garantiza la energía a producir pero se requiere de grandes sistemas de almacenamiento. (Diaz, 2017)

Otra de las condiciones que debe tenerse en cuenta en los sistemas de generación es el efecto al medio ambiente, ya sea en emisiones de gases de efecto invernadero que emiten todas las centrales de energía que operan con combustibles convencionales tal como gas natural, petróleo y carbón, así como los desechos que es originan, o también las generadas por las centrales hidroeléctricas en su periodo de construcción. Por lo cual efecto daño al medio ambiente debe ser el mínimo posible; en estos casos las centrales eólicas tienen la particularidad de ubicarse en zonas alejadas de las zonas urbanas y rurales pobladas, general ubicados en lugares abiertos que no tienen un daño significativo sobre el medio ambiente. (Díaz, 2017)

Figura 1

*Agentes de un sistema Eléctrico de Potencia*



*Nota.* Imagen obtenida de Acevedo (2013)

El despacho de generación está referido a asignar de forma eficiente la cobertura de la demanda a un grupo de centrales de generación de diversas tecnológicas disponibles, y que operaran según sus costos variables de operación de menor a mayor, y de alguna forma afectada por reglamentaciones promulgadas por cada país. En nuestro caso se ve afectada por la ley de promoción de RERs, la cual obliga a que, en el despacho económico, este tipo de centrales tengan prioridad en la operación y en el despacho de generación, lo mismo que las centrales de cogeneración. Esta actividad de despachar eficientemente la energía para cubrir una determinada demanda tiene por finalidad equilibrar la oferta con la demanda e incluye las pérdidas por transmisión. Este despacho se ve afectado por contingencias que alteran el orden o la precedencia de las centrales de generación durante el despacho. (Berrio, 2018)

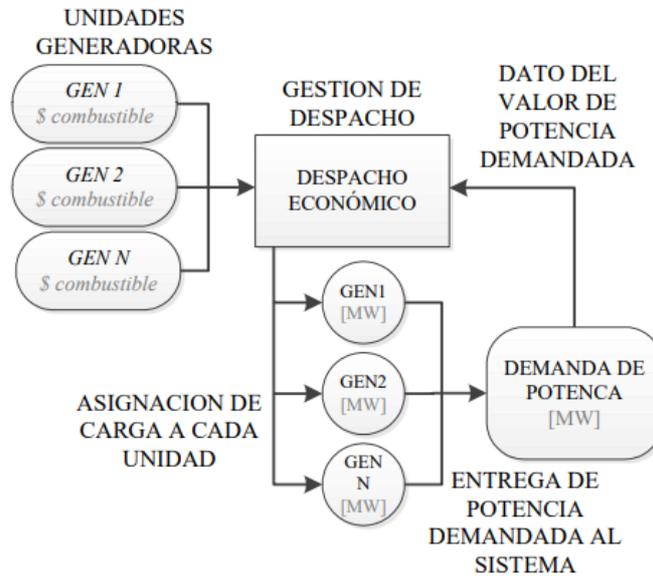
El despacho económico es una actividad de relevante en la operación eficiente de los sistemas de gestión de generación de energía, el cual tiene por finalidad, la asignación de producción a una planta de generación a cualquier condición de carga dentro de un sistema eléctrico, esto involucra la potencia de cada unidad conformante de la central de generación, para ello hace uso de condiciones económicas de costos de operación, disponibilidad de recursos, ubicación geográfica, inestabilidad de la red, entre otras para conseguir la operación del sistema de generación a un mínimo costo y con el cumplimiento de la demanda instantánea del sistema el cual debe incluir la generación adicional para compensar las pérdidas por transmisión. Del mismo modo permite determinar el valor de la energía activa y reactiva comprometida para un determinado periodo de operación. (Diaz, 2019)

En la operación de un determinado sistema eléctrico, en cada instante de tiempo se busca estabilizar y controlar las variables eléctricas en su rango standard de trabajo. Estas variables por controlar principalmente son la tensión y la frecuencia. En el caso del control de la frecuencia en los límites máximos y mínimos establecidos (para evitar sobre frecuencias o subfrecuencias) es necesario que en cada instante de tiempo la demanda más las perdidas en la transmisión sean iguales a la oferta generada. Estas actividades son pronosticadas a diversos escenarios de ocurrencia, en la cual la oferta de generación se programa a tiempo real según los programas de despacho y sus correcciones de la desviación del despacho a tiempo real, para ello la comunicación entre el centro de despacho y las centrales de generación juega un papel muy importante. (Berrio, 2018)

En la Figura 2 se muestra el esquema del despacho económico, en el cual, para una determinada demanda del sistema eléctrico, y teniendo en cuenta los costos variables de operación de cada generador, se asigna la potencia de despacho a cada unidad de generación disponible. En el Perú esta actividad la realiza el COES-SINAC Comité de Operación económica del Sistema Nacional. (Diaz, 2019)

Figura 2

*Asignación del despacho de generación*



*Nota.* Imagen obtenida de Diaz (2019)

El despacho económico se programa en diversos periodos de tiempo así tenemos:

A tiempo real. (para corregir las desviaciones del despacho)

Diario. (para la operación del día siguiente asegurar la participación futura de las centrales de generación participantes)

Semanal.

Mensual.

Y de largo plazo (con la finalidad de prevenir posibles contingencias futuras). (Berrio, 2018)

El proceso de optimización prioriza realizar un balance de potencia, en este intervalo de tiempo se pronostica la demanda futura, para lo cual se determinan factores 'best-fit' empleados en la optimización del balance generación – demanda que toma en cuenta las contingencias o las desviaciones abruptas de la demanda (incrementos de demanda no prevista) o alteraciones en la oferta (fallas fortuitas en generadores, ruptura de líneas de transmisión, etc.), actualmente se han insertado las variables eléctricas como la tensión y la energía reactiva como función en el cálculo del despacho a través de robustos programas. (Berrio, 2018)

El método de despacho económico de alta velocidad realiza los pronósticos de la cobertura de demanda ante variaciones bruscas de esta afectada por elevaciones y disminuciones intempestivas de cargas que alteran las variables eléctricas de un sistema, para ello toma en cuenta como premisa que la frecuencia y la tensión son parámetros que deben tenerse en cuenta para el equilibrio del sistema de generación y transmisión, así como mantener un flujo de potencia de calidad. La dinámica de este modelo permite una respuesta rápida ante una posible alteración o contaminación de la red, lo cual es generado por las centrales eólicas que son afectadas por la variabilidad de la dirección y magnitud de la velocidad del viento, lo cual genera picos y valles en la potencia generada y que es inyectada a la red de transmisión, generándose la regulación de frecuencia. (Berrio, 2018)

La gestión eficiente del despacho de un sistema eléctrico de potencia es compleja y dinámica para ello se debe controlar un variado número de factores que van desde económicos, técnicos y de efecto al medio ambiente. Siendo los factores técnicos los más preponderantes, tal como lo es la disponibilidad del recurso energético y su cadena de suministro. Por otro lado la solidez de un marco normativo fortalece las actividades de despacho eficiente, la cual estará sujeta básicamente a los costos de operación, ordenándose la operación de las centrales de energía de menor a mayor. (Diaz, 2017)

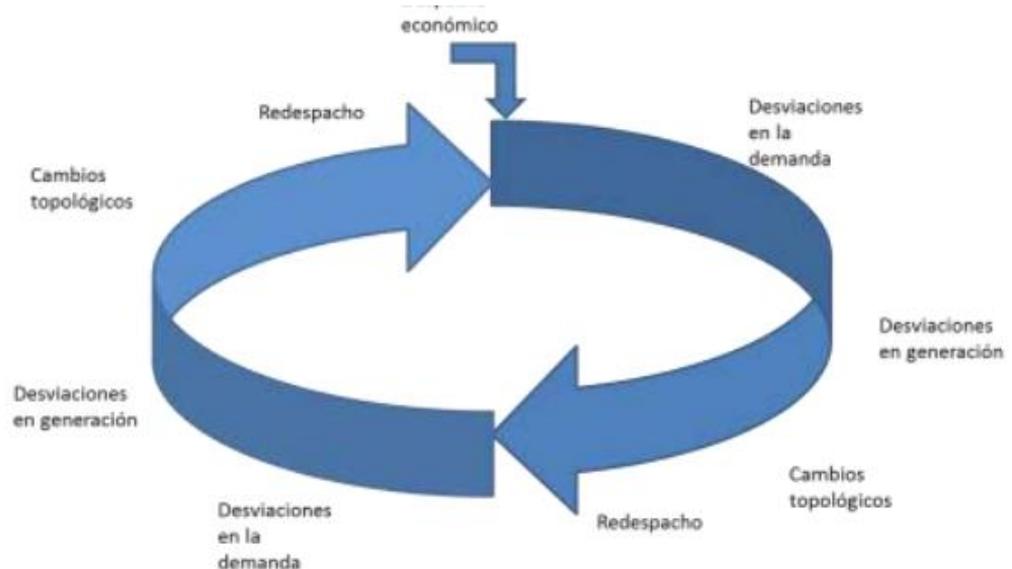
La gestión eficiente del despacho tiene por finalidad la operación de la generación al mínimo costo de una energía estable, de calidad, segura y confiable con la finalidad de afectar al excedente del consumidor. Así tenemos lo siguiente:

- Despacho económico, referido a las características operativas del sistema eléctrico al mínimo costo para cubrir una determinada área geográfica, teniendo en cuenta la disponibilidad y capacidad de la red de transmisión.
- Pérdidas técnicas en la red principal de transmisión a los niveles de tensión, las cuales están sometidas al flujo de potencia y en algunos casos a factores climatológicos que afectan su integridad. (Diaz, 2017)

El despacho económico de energía tiene por finalidad la programación anticipada de la operación de las centrales de generación, en nuestro caso primero ingresan a operar las centrales hidroeléctricas de embalse (las cuales tienen garantizado el recurso hídrico para un largo periodo de tiempo con lo cual su índice de confiabilidad es alto), luego por normativa ingresan a despachar las centrales de generación RER independiente de su potencia (en este caso las centrales solares fotovoltaicas están limitadas a horas diurnas de operación, mientras que las centrales eólicas estarán en función a la variabilidad de la magnitud y velocidad del viento), luego irán operando en estricto orden las centrales de ciclo combinado y con turbinas de gas que operan con gas natural, seguido por las centrales que operan con petróleo R500 y diesel, generalmente en reserva. (Díaz, 2017)

Figura 3

*Componentes del predespacho de generación*



*Nota.* Imagen obtenida de tesis de Berrios (2016)

El redespacho de la generación es una metodología que permite corregir las desviaciones del despacho original, ante incrementos o disminuciones de la demanda, y ante las posibles fallas fortuitas en una central de generación, colapso de una red de transmisión, pero originado básicamente ante la inestabilidad de una red al variar continuamente la inyección de potencia, lo cual no sucede con las centrales

termoeléctricas, ni hidroeléctricas, siendo exclusivas de las centrales eólicas. Para ello se debe nuevamente reordenar y optimizar el flujo de potencia la cual puede regresar nuevamente a la condición que genero el desequilibrio en la red. (García, 2019)

El despacho económico se clasifica en tres tipos: Operación económica de largo, mediano y corto plazo.

La operación con horizonte de largo plazo tiene en cuenta un promedio de tiempo de 1 a 5 años según la naturaleza del estudio, que por lo general tiene características de incertidumbre, riesgo y es estocástico. Su modelación implica estudios de proyección de la demanda futura bajo diversos escenarios, la serie estadística de la hidrología con respecto a los volúmenes garantizados y los caudales sintéticos de las diversas cuencas hidrográficas, los planes de transmisión a largo plazo y las reservas de gas natural probadas (que son la garantía de la estabilidad del sistema eléctrico peruano y del proceso de transición energética. Sujeto a los posibles cambios de tecnología que deben tener un componente en el cálculo de programación matemática. (Garrido, 2016)

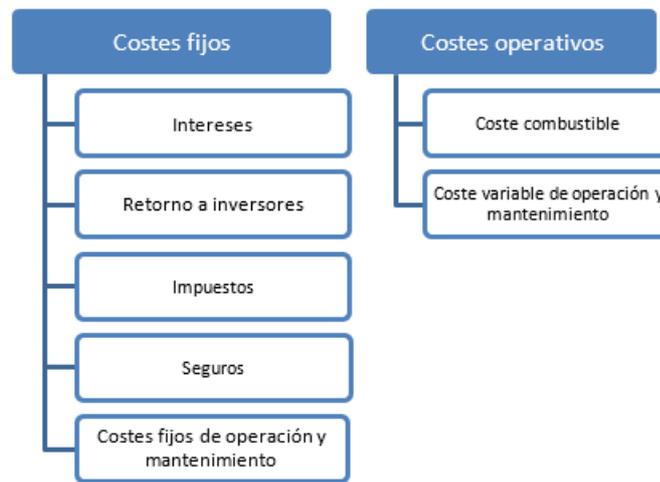
El despacho económico con horizonte de mediano plazo esta referido a un periodo de meses que puede prolongarse hasta 24 meses, es del tipo determinística con sus componentes de probabilidad influenciada por las series hidrológicas actualmente afectadas por el cambio climático. Se tiene en cuenta la programación del mantenimiento preventivo según lo establecido por el administrador del sistema. Las características de la red de transmisión son conocidas. (Garrido, 2016)

La operación económica de corto plazo esta referida a la programación por días y semanas teniendo en cuenta: demanda de energía y potencia de muy baja incertidumbre; curva de carga determinísticas; hidrología conocida; ventosidad y radiación relativamente conocidas; mantenimientos mayores programados con alto nivel de certidumbre. En este caso las variables a definir son: la operación de las unidades en el tiempo (conocimiento del despacho de las unidades generadoras); flujos de potencia, perfiles de tensión en barras de potencia; despacho de energía reactiva; costos marginales y los niveles de reserva de fría o en rotación. (Garrido, 2016)

El coste marginal esta definido por el costo de suministro de una potencia adicional en cada barra de potencia perteneciente a un sistema, y se interpreta como la sensibilidad del costo total de generación referente de las demandas individuales de cada nudo. Es un indicador del coste de la energía en los diversos puntos de la red. Los costes de generación de la energía eléctrica se conforman de dos partidas principales: los costos fijos o de inversión y los costos operativos. El despacho de carga busca optimizar éstos últimos. (Diaz, 2017)

Figura 4

*Componentes de costos de generadores*



*Nota.* Imagen obtenida de tesis de Diaz (2017)

Dentro de las unidades de generación conformantes de un sistema de generación de energía que operan en despacho económico tenemos la siguiente clasificación:

Centrales de Base: Son aquellas Centrales Termoeléctricas e hidroeléctricas, que pueden operar en forma continua y permanente, en función a los siguientes criterios: Gran capacidad de generación y bajos costos operativos lo que le permiten operar de forma continua. Su función es suministrar energía eléctrica en forma permanente; la instalación suele estar en marcha durante largos períodos de tiempo y no debe sufrir interrupciones de la instalación. Este tipo de centrales se caracterizan por su alta potencia efectiva. Están destinadas a suministrar la mayor parte de la energía eléctrica de un Sistema Eléctrico. Estas centrales llamadas también centrales principales, son de gran potencia y utilizan generalmente como motores primos las turbinas de vapor, turbinas de gas y turbinas hidráulicas, así como las centrales de ciclo combinado. En

sistemas eléctricos de otros países las Centrales Nucleoeléctricas y Carboeléctricas, toman también esta denominación. (Guevara, 2023)

Figura 5

*Central de ciclo combinado de Kallpa-Central de base*



*Nota.* Imagen obtenida de Kallpa Generación Perú. (2023)

Su designación está en relación a los siguientes criterios:

- Gran capacidad de generación de energía eléctrica: Tenemos las centrales Hidroeléctricas de pasada y Centrales Termoeléctricas de Ciclo Combinado con gas natural.
- Tienen bajos costos operativos, por lo tanto, pueden operar de forma continua sin afectar al precio de la energía de todo el sistema eléctrico. Así tenemos las Centrales Hidroeléctricas de pasada y embalse, Centrales Termoeléctricas de Ciclo Combinado, con Motores de Combustión Interna y Ciclo Joule Brayton Simple Abierto con Gas Natural. (Guevara, 2023)
- Centrales con Recursos Energéticos Renovables: Según la normatividad peruana las Centrales Solares Fotovoltaicas, Centrales Hidroeléctricas con una Potencia Efectiva inferior a 20 MW, las de Biomasa, Residuos sólidos urbanos y las Centrales Eólicas se denominan Centrales con Recursos Energéticos Renovables, y tienen prioridad en el despacho de la generación de energía según la Ley de

Promoción de las Energías Renovables en el Perú, al margen su alto costo de operación.

- Las Centrales termoeléctricas que utilicen la tecnología de Cogeneración en sus instalaciones.
- Así como características de operatividad en su motor primo. (Las centrales termoeléctricas de vapor con bajos costos operativos y debido al alto periodo por el arranque en frío de las turbinas de vapor, es recomendable que permanezcan operativas) (Guevara, 2023)

Figura 6

*Central Eólica Wayra I-Central de base*



*Nota.* Imagen obtenida de Enel Green Perú (2023)

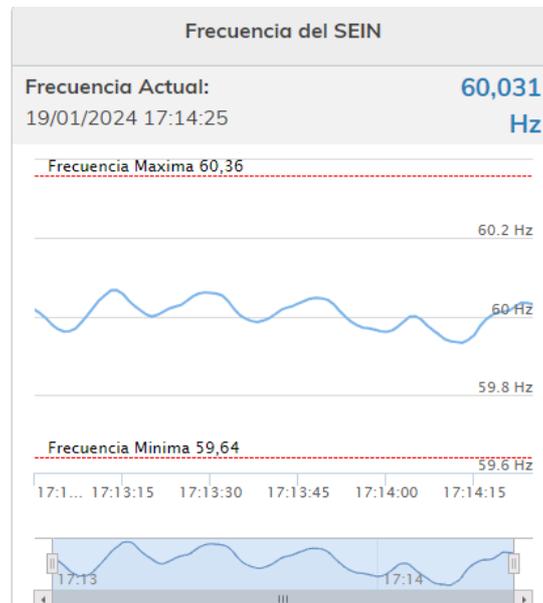
Centrales de punta. Son aquellas centrales proyectadas para cubrir las demandas de energía eléctrica en las horas – punta; en dichas horas – punta, se ponen en marcha y trabajan en paralelo con la central principal (en el Perú se considera horas punta al periodo comprendido entre las 19.00 a las 23.00 horas), así como también cubren las demandas cuando existen picos de consumo. Tienen una rápida capacidad de respuesta para ingresar a operar a plena carga (rápida rampa de arranque), generalmente suelen ser centrales hidroeléctricas de regulación o de embalse o termoeléctricas con turbinas a gas (pueden pertenecer a un ciclo combinado) o MCI. (Guevara, 2023)

Centrales de regulación: Son Centrales de generación que por su característica de ubicación o diseño cuenta con un reservorio que le da la capacidad para almacenar

energía. Su regulación se da en función a la capacidad disponible de sus reservorios, y se clasifican en horaria, diaria o semanal. Prestan un gran servicio en situaciones de bajos caudales, ya que el almacenamiento es continuo, regulando de modo conveniente para la producción. Se adaptan bien para cubrir horas punta de consumo. También están incluidas aquellas centrales termoeléctricas de rápida respuesta a las cuales se les asigna un porcentaje de su generación para poder cubrir con la regulación primaria de frecuencia y la estabilidad de la tensión. Para las centrales de generación con potencia mayor a 10 MW, se considera el porcentaje de reserva de 2,8% En función al tipo de regulación esta puede ser primaria, secundaria o terciaria. (Guevara, 2023)

Figura 7

*Banda de frecuencia donde operan las centrales de regulación*



*Nota.* Imagen obtenida de COES SINAC (2024)

Centrales de reserva fría: Tienen por objeto sustituir total o parcialmente a las centrales hidráulicas de base en casos de escasez de agua o avería en algún elemento del sistema eléctrico. El concepto de reserva económica implica la disponibilidad de instalaciones capaces de sustituir total o parcialmente a las centrales de base en las siguientes situaciones: escasez o falta de insumos energéticos (agua, combustibles), congestión en las redes de transmisión, programas de mantenimiento y fallas fortuitas. El concepto de reserva técnica comprende la programación de determinadas centrales para reemplazar

a las centrales de producción elevada en el caso de fallas en sus máquinas. (Guevara, 2023)

Los grupos de arranque rápido por emergencia constituyen parte de la Reserva Fría del Sistema. Permite disponer de capacidad de generación que puede ser puesta en funcionamiento en un tiempo menor a 10 minutos cuando el Coordinador del sistema lo disponga, con el objeto de compensar las reducciones súbitas de generación o atender los incrementos súbitos de la demanda, a fin de prevenir estados de emergencia en el Sistema. (Guevara, 2023)

En el Perú se tienen las siguientes Centrales de Reserva Fría ubicados en sitios estratégicos tal como: Talara (184,9 MW), Puerto Eten (225,1 MW) , Ilo(502,8 MW), , Pucallpa (40,2 MW, 25 GE CAT duales con Petróleo Diesel B5 o Gas Natural) y Puerto Maldonado(17,7 MW), 11 GE CAT duales con Petróleo Diesel B5 o Gas Natural). Mientras que la Central de Reserva Fría de Iquitos (70 MW, 7 GE duales con Petróleo Industrial 6 o Gas Natural). Las centrales de Talara (ENEL), Puerto Eten (GENERACION DE PUERTO ETEN S.A), Ilo (ENGIE), Pucallpa y Puerto Maldonado se encuentran en operación y en condición de disponibilidad, con la característica de ser unidades generadoras de energía del tipo Joule Brayton Simple Abierto duales (para operar con gas Natural o Petróleo Diesel B5). (Guevara, 2023)

Figura 8

*Central de reserva fría de Puerto Maldonado*



*Nota.* Imagen obtenida de COES SINAC (2024)

## 2.2 Centrales eólicas.

Una central eólica está conformada por uno o grupo de aerogeneradores conectados a una central de transformación en media tensión la cual se eleva para su inyección a la red. Un aerogenerador aprovecha la velocidad del viento, transformándola en energía mecánica de rotación y luego en energía eléctrica, la cual luego es transformada en alta tensión, inyectándose a la red eléctrica. La instalación de centrales eólicas requiere de zonas geográficas en las cuales se tenga una alta disponibilidad del recurso Eólico en velocidad y dirección de la misma para poder tener una generación estable y continua. (Mitjà, 2002)

La distribución y ubicación de las turbinas eólicas en una central eólica depende de la orografía y morfología del terreno y de la dirección predominante del viento en la zona de instalación. Por lo general los aerogeneradores se sitúan siguiendo el perfil del terreno o la cima, y se orientan según las condiciones del viento. La distancia entre aerogeneradores, dependerá de la dirección del viento, y es por lo general entre 2 y 3 veces el diámetro de alabes. (Mitjà, 2002)

Figura 9

*Central Eólica de Cupisnique*



*Nota.* Imagen obtenida de Empresa Energía Eólica del Perú (2023)

Los aerogeneradores se clasifican:

De acuerdo al rango de potencia eléctrica generada.

Generadores de pequeña potencia: Corresponden a los generadores con potencias menores a 30 kW.

Generadores de mediana potencia: Corresponden a generadores cuyas potencias están entre 30 y 600 kW. Son los más desarrollados y extendidos.

Generadores de alta potencia: Corresponden a generadores cuyas potencias están por encima de 1 MW. (Delgado & Flores, 2022)

De acuerdo al tipo de diseño.

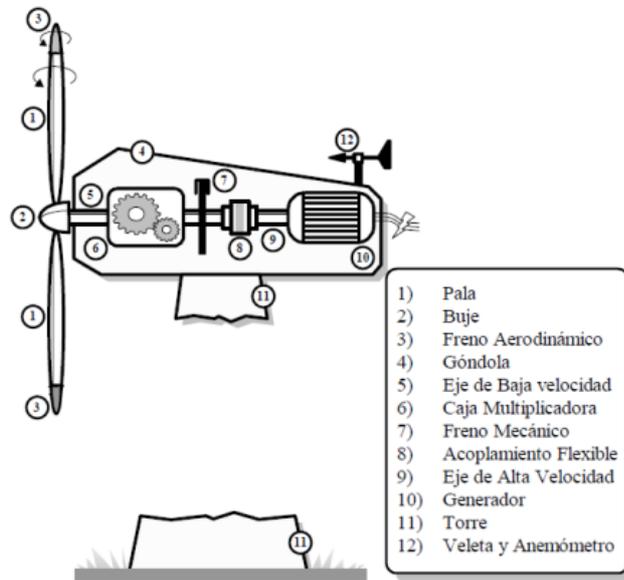
Generadores de eje horizontal y eje vertical: Los generadores de eje horizontal son los más extendidos; mientras que los de eje vertical quedan reducidos a prototipos. Los aerogeneradores de eje horizontal con el eje paralelo a la dirección del viento, en la actualidad son las máquinas más difundidas y con mayores rendimientos que las otras existentes. En este grupo se incluyen aquellas que tienen 1, 2, 3 o 4 palas. (Delgado & Flores, 2022)

Una de las razones principales para la utilización de tres palas en la hélice es el momento debido a Coriolis constante, casi nulo, del rotor respecto a los movimientos operacionales alrededor del eje longitudinal de la torre. Todos los rotores con tres o más palas tienen esta favorable propiedad. Por consiguiente, no induce ninguna carga sobre la estructura debido a este fenómeno lo que deviene en una simplificación estructural y reducción en los costos de fabricación. Son frecuentemente utilizados en generadores de mediana y alta potencia. La característica fundamental de esta configuración es su mayor suavidad de funcionamiento respecto a las anteriores. (Delgado & Flores, 2022)

Entre sus ventajas se cita: el suministro eficaz y confiable de la energía eléctrica, larga durabilidad, tecnología en continua mejora. Su desventaja radica en el fuerte impacto visual que se produce.

Figura 10

*Principales elementos de un generador de eje horizontal.*



*Nota.* Imagen obtenida de Delgado y Flores (2022)

Con una potencia nominal de 15 megavatios y una altura de 280 metros el aerogenerador V236 de la Empresa Danesa VESTA, se posiciona como el aerogenerador más alto del mundo. Sus palas tienen un largo de 115,5 metros, lo que supone un diámetro de rotor de 236 metros que permite abarcar una superficie de viento de 43.743 metros cuadrados. (Duarte, 2023)

El rotor: es el elemento que capta la energía del viento y la transforma en energía mecánica. A su vez, el rotor se compone de tres partes fundamentales: las palas (que capturan la energía contenida en el viento), el eje (que transmite el movimiento giratorio de las palas al aerogenerador) y el buje (que fija las palas al eje de baja velocidad). Las palas son los elementos más importantes, pues son las que reciben la fuerza del viento y se mueven gracias a su diseño aerodinámico. Están fabricadas con plástico (resina de poliéster) reforzado con fibra de vidrio, sobre una estructura resistente, y su tamaño depende de la tecnología empleada y de la velocidad del viento. También podemos encontrar palas que usen fibra de carbono o aramidas (Kevlar) como material de refuerzo, pero normalmente estas palas son antieconómicas para grandes aerogeneradores. (Villalba, 2020)

Según la orientación de las palas respecto al viento, tenemos aerogeneradores a barlovento o a sotavento. Las palas están en configuración de barlovento cuando se enfrentan al viento y sotavento cuando se mueven con el viento que sale tras la góndola. La gran mayoría de los grandes aerogeneradores son de eje horizontal y barlovento, mientras que los aerogeneradores de pequeño tamaño son de tipo sotavento y orientación por veleta. La potencia obtenida depende, entre otros factores de la superficie de captación, es decir, del tamaño del rotor. (Villalba, 2020)

Las turbinas eólicas que emplean generadores síncronos normalmente utilizan electroimanes en el rotor que se alimentan con corriente continua de la red eléctrica. Dado que la red suministra corriente alterna, primero tienen que convertir la corriente alterna en corriente continua antes de enviarla a los bobinados alrededor de los electroimanes del rotor. Los electroimanes del rotor están conectados a la corriente mediante escobillas y anillos rozantes en el eje del generador. Debido a que las velocidades del viento reales son variables, los generadores síncronos de imanes permanentes no puede generar energía eléctrica con frecuencia fija. Como resultado, deben ser conectados a la red eléctrica a través de una conversión de CA-CC-CA por convertidores de potencia. Es decir, la alimentación de corriente alterna generada (con frecuencia y magnitud variable) se rectifica primero en corriente continua fijo y luego se convierte de nuevo en alimentación de corriente alterna (con frecuencia y magnitud fija). (Textos científicos, 2023)

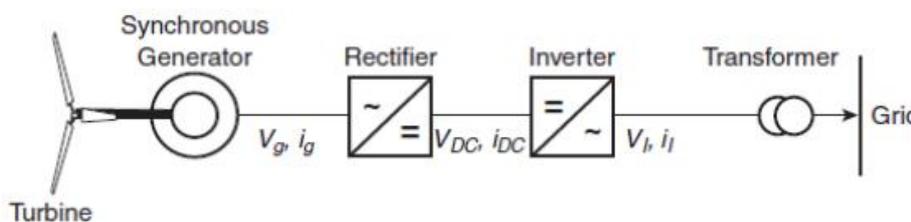
La naturaleza inherente de la energía eólica exige generadores de velocidad variable. La razón puede verse en las curvas de velocidad del rotor de par para diferentes velocidades del viento. Un generador de velocidad constante puede capturar energía más eficiente solo para una sola velocidad del viento. El generador de velocidad constante captura la potencia máxima solo para una velocidad del viento de 6 m / s; a otras velocidades del viento, este tipo de generador no funciona a la potencia máxima. La turbina de velocidad variable que puede cambiar la velocidad del rotor de modo que la turbina esté funcionando a la potencia máxima para todas las velocidades del viento (por debajo de la velocidad nominal del viento) producirá una mayor producción de energía. Esta es la motivación para el movimiento hacia generadores de velocidad variable. (Rojas, 2019)

Los generadores de velocidad variable generarán voltaje y corriente que varían en magnitud y frecuencia, a diferencia del voltaje constante y frecuencia de la red. Por lo tanto, el voltaje y la frecuencia de estos los generadores están condicionados para ser compatibles con la red mediante la conversión de AC variable a DC y luego a frecuencia constante y voltaje AC (ver figura 2.16. La primera parte de la conversión se realiza con un rectificador y la segunda mitad con un inversor. En consecuencia, se discute un tipo de inversor con modulación de ancho de pulso (PWM). (Rojas, 2019)

Dirigiendo la atención al lado del viento del rotor, en una turbina de velocidad variable, el rotor de la turbina está conectado directamente al rotor del generador. Una de las ventajas de la turbina de velocidad variable es la capacidad de mantener un rendimiento óptimo cambiando la velocidad del rotor a medida que cambia la velocidad del viento (ver fig. 2.11). A continuación, un mecanismo de control simple es descrito que logra este objetivo de mantener la velocidad de rotación a un valor óptimo. Esto implica controlar cuánta corriente ( $i_{DC}$ ) consume el inversor PWM. Es decir, imagine un controlador en el inversor que regule la cantidad de  $i_{DC}$  que extrae el inversor. (Rojas, 2019)

Figura 11

*Esquema de un generador síncrono de velocidad variable con Rotor de imán permanente.*



*Nota.* Imagen obtenida de Rojas (2019)

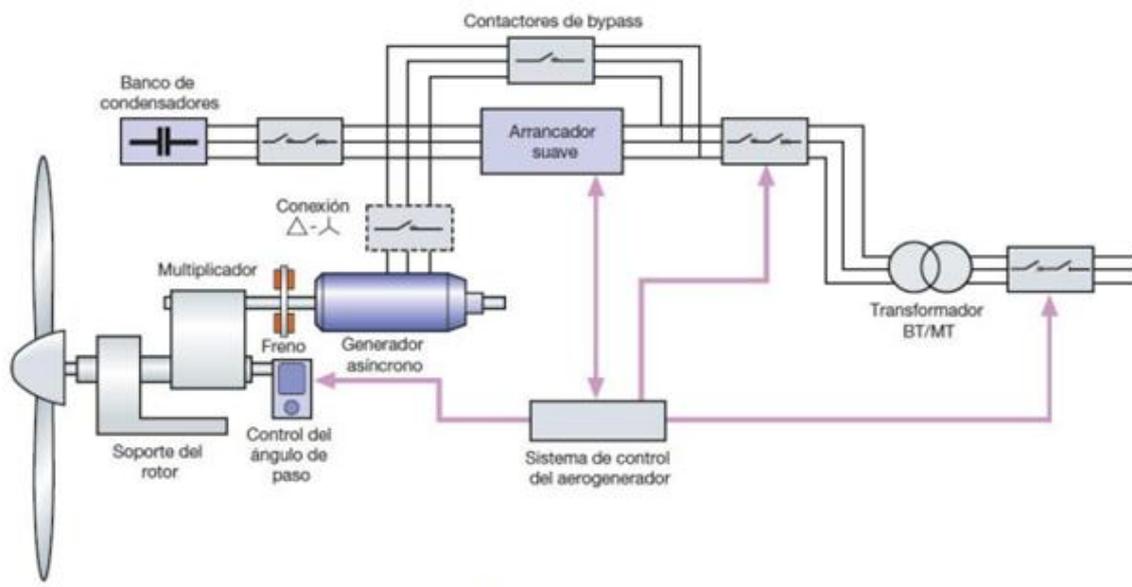
Generador síncrono de accionamiento directo (DDSG) Enercon popularizó este tipo de generador. Enercon E66 1.5 MW. El generador tiene 72 polos y produce energía de seis fases, que es rectificado a DC. Esta corriente continua alimenta al rotor y a un inversor. Para acomodar la gran cantidad de polos, el rotor es grande. Como ilustración, considere una turbina DDSG con una velocidad de rotación de 10 a 22 rpm. En comparación con

un generador de inducción de 1500 rpm, el par es aproximadamente 70 veces por la misma cantidad de energía. Por lo tanto, el volumen de los generadores DDSG es grande, que generalmente es logrado aumentando el radio. Un mecanismo de control, similar al descrito para PMSG, puede usarse para capturar potencia óptima cambiando la velocidad angular del rotor. (Rojas, 2019)

Aerogeneradores de velocidad fija Se utilizan en gran medida por su robustez y simplicidad constructiva, por su bajo coste relativo y por la simplicidad de su conexión y desconexión de la red. Generalmente equipados con un generador de inducción (jaula de ardilla o rotor bobinado) que esté directamente conectado a la red. Algunos aerogeneradores de velocidad fija tienen dos juegos de bobinado: uno se usa a velocidades de viento bajas (8 polos) y el otro a velocidades de viento medias y altas (4-6 polos) (Rojas, 2019)

Figura 12

*Aerogenerador de velocidad fija con generador asíncrono*



*Nota.* Imagen obtenida de Rojas (2019)

Existen varias soluciones que permiten al rotor funcionar a velocidad variable, manteniendo al mismo tiempo la frecuencia constante. Estas soluciones pueden ser de naturaleza mecánica y eléctrica, aunque en la actualidad las más utilizadas son de tipo eléctrico, incorporando alguna de las siguientes configuraciones.

Tabla 1

*Soluciones de funcionamiento del rotor a velocidad variable*

Tipo de generador	Característica de funcionamiento
Asíncronos de rotor bobinado	Con resistencia variable externa
Asíncronos de rotor bobinado	Con convertidor de potencia interpuesto entre el rotor y la red. (configuración doblemente alimentada)
Asíncronos de jaula de ardilla	Con convertidor de potencia interpuesto entre el estator y la red. (configuración de convertidor total)
Síncronos	Con convertidor electrónico de potencia interpuesto entre el estator y la red. (configuración de convertidor total)

*Nota.* Imagen obtenida de la Empresa ABB.

En el diseño de una instalación eólica es necesario considerar tres factores:

El emplazamiento elegido para instalar la máquina eólica ha de cumplir dos condiciones: el viento ha de soplar con regularidad y su velocidad ha de tener un elevado valor medio. Es necesario disponer de una información meteorológica detallada sobre la estructura y distribución de los vientos. Las mediciones estadísticas deben realizarse durante un período mínimo de tres años, para poder obtener unos valores fiables, que una vez procesados permiten elaborar:

- Mapas eólicos: proporcionan una información de ámbito global del nivel medio de los vientos en una determinada área geográfica, situando las zonas más idóneas bajo el punto de vista energético.
- Distribuciones de velocidad: estudio a escala zonal de un mapa eólico, que proporciona el número de horas al año en que el viento tiene una dirección y una velocidad determinadas.
- Perfiles de velocidad: variación de la velocidad del viento con la altura respecto al suelo, obtenido por un estudio puntual. (Villalba, 2020)

El tamaño de la máquina condiciona fuertemente los problemas técnicos. En el caso de las grandes plantas eólicas, el objetivo principal es conseguir unidades tan grandes como sea posible, con el fin de reducir los costes por kW obtenido, pero las grandes máquinas presentan problemas estructurales que sólo los puede resolver la industria aeronáutica. Para las pequeñas aeroturbinas, el problema es diferente; el objetivo técnico principal es la reducción de su mantenimiento, ya que su aplicación suele estar dirigida a usos en zonas aisladas. (Villalba, 2020)

El coste, si se desea producir energía eléctrica para distribuir a la red, es lógico diseñar una planta eólica mediana o grande, mientras que, si se trata de utilizar esta energía de forma aislada, será más adecuado la construcción de una máquina pequeña, o acaso mediana. El tamaño de la planta eólica determina el nivel de producción y, por tanto, influye en los costes de la instalación, dentro de los que cabe distinguir entre el coste de la planta (coste por kW) y el coste de la energía (coste por kWh). (Villalba, 2020)

### **2.3 Operación de centrales eólicas.**

El viento se caracteriza, por dos grandes variables respecto al tiempo: la velocidad y la dirección. La velocidad incide más directamente que la dirección en el rendimiento de la estación. Los fenómenos instantáneos (ráfagas) son difíciles de caracterizar; para tener una idea aproximada de estas variaciones, son necesarios registros meteorológicos de vientos periódicos, de aproximadamente 20 años atrás. Los cambios diarios se deben a los fenómenos térmicos producidos por la radiación solar. Las variaciones de temperatura con la altitud crean corrientes ascendentes. Los fenómenos o variaciones mensuales dependen esencialmente del lugar geográfico y sólo las estadísticas meteorológicas que preceden estas variaciones. Los fenómenos o variaciones anuales son periódicos con buena precisión en los datos, de modo que, de un año a otro, es posible hacer una buena evaluación de la energía eólica recuperable en un lugar determinado. (Delgado & Flores, 2022)

La variabilidad y la incertidumbre son dos conceptos importantes a tener en cuenta para la generación de energía proveniente de fuentes renovables. La variabilidad implica todo comportamiento inconstante de un fenómeno debido al cambio en una condición. La incertidumbre por otra parte, se refiere a la dificultad de predecir con exactitud los

patrones de comportamiento de un objeto de estudio. Existe un límite en la generación máxima para las centrales de energías renovables, que cambia en el tiempo (variabilidad) y no puede ser pronosticada con perfecta precisión (incertidumbre). Ambientalmente se pueden identificar beneficios netos importantes asociados a este tipo de generación, sin embargo, dada la gran incertidumbre y variabilidad de sus recursos, actualmente es un gran desafío su integración a los sistemas eléctricos. (Eliett, 2018)

La intermitencia podría causar que la demanda del sistema eléctrico quede insatisfecha, lo que depende de la capacidad de almacenamiento y de la forma de operación de cada sistema. Esto conlleva a la necesidad de mantener un balance entre generación de electricidad y demanda. Para evitar que se convierta en un problema, es necesario anticiparse a este fenómeno. (Eliett, 2018)

A esta energía se la denomina potencia meteorológica o potencia eólica disponible. Como la velocidad del viento, luego de atravesar la superficie de captación, no es nula, la potencia dada por la expresión anterior no es totalmente aprovechable. Betz demostró que la máxima energía recuperable, con un aerogenerador ideal, es igual a 16/27 (59.26%) de la energía contenida en el viento, es aprovechable como energía disponible en el eje de la aeroturbina, a este valor se le da el nombre de coeficiente de potencia  $C_p$ . En la actualidad las aeroturbinas más eficientes alcanzan valores de rendimiento energético del 50%. (Delgado & Flores, 2022)

Un modelo simplificado, según Betz (1926), establece la relación ideal entre la energía presente en el viento y la que es posible aprovechar por medio de un aerogenerador en función a la densidad del aire, área de contacto y la velocidad del viento al cubo. El modelo se fundamenta en la teoría lineal del momentum y del mismo modo se analiza un volumen de control, en donde la turbina produce una discontinuidad en la presión del aire. Según al límite de Betz, el máximo valor teórico que se puede obtener en una turbina eólica es de  $16/27 = 0.5926$ , sin embargo, producto a la rotación de la estela del aerogenerador, el número finito de alabes y las pérdidas por arrastre aerodinámico,  $C_p$  siempre será inferior al valor teórico. (Thornton, 2018)

$$P_{eolica} = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 * C_p \dots \dots \dots (1)$$

El viento es el producto de las diferencias de presión en la tierra y está sujeto también a la variabilidad del clima, es decir que se puede tener disponible una mayor o menor cantidad de recurso, generando intermitencia en la generación de energía. El suministro de energía es función directa de la fluctuación de la velocidad y dirección del viento, la variabilidad y la intermitencia de la generación eólica han traído nuevos desafíos para el planeamiento y despacho de sistemas de energía interconectados con una alta penetración de parques eólicos conectados a la red. (Salamanca, 2020)

Al ser dependiente la potencia del recurso eólico a la velocidad del viento al cubo, bastara una ligera variación de esta última, para que se sienta efecto en la potencia del recurso eólico el cual es directamente proporcional a la potencia efectiva generada por la turbina eólica. (Salamanca, 2020)

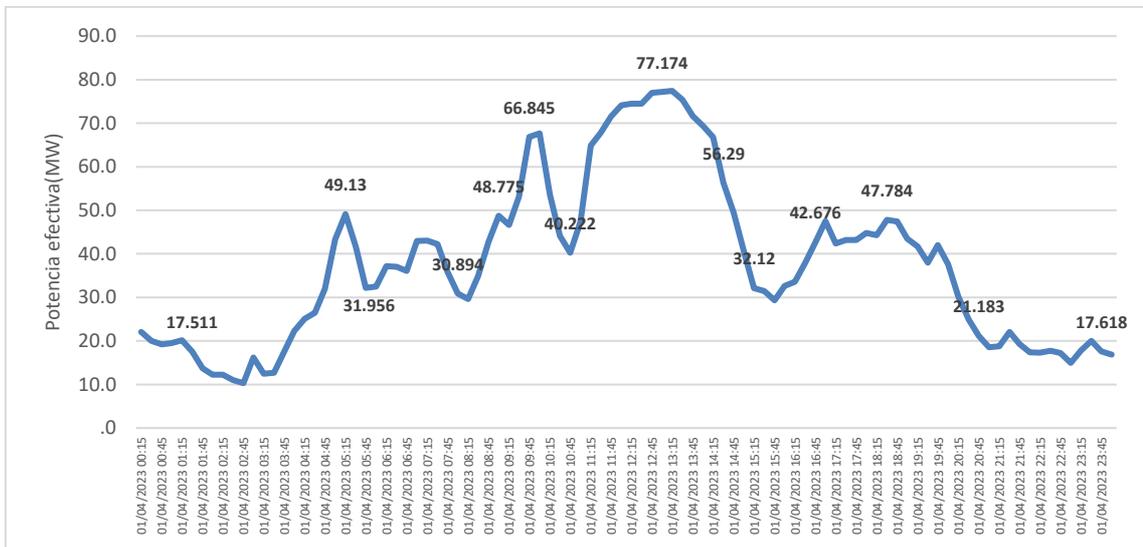
El viento es una fuente de energía intermitente e impredecible. La velocidad y dirección del viento pueden fluctuar mucho, lo que provoca fluctuaciones en la generación de energía. Para los operadores de redes y proveedores de energía, esta variabilidad plantea desafíos importantes para mantener un suministro de energía estable y confiable. A continuación, se muestran algunas estadísticas clave que destacan la variabilidad de la energía eólica:

- La producción de energía eólica puede variar hasta un 50% en cuestión de minutos, lo que genera inestabilidad en un sistema eléctrico de potencia.
- Más del 20% de la generación anual de energía eólica se produce durante sólo el 3% del tiempo total.
- Alrededor del 50% de la variabilidad horaria de la energía eólica se debe a cambios en la velocidad del viento. (Cameron, 2023)

Se presenta el diagrama de carga del comportamiento de la generación de la central eólica de Cupisnique, ubicada en el departamento de La Libertad en la cual se observa una máxima potencia generada de 77,17 MW, la cual no es constante, por otro modo los picos de potencia generada son instantáneas en cada momento, con valores que van desde 17,16 MW a 48,13 MW.

Figura 13

Diagrama de carga típico de Central Eólica de Cupisnique del 01.04.2023



Nota. Punto de medición N° 507 COES SINAC (2023)

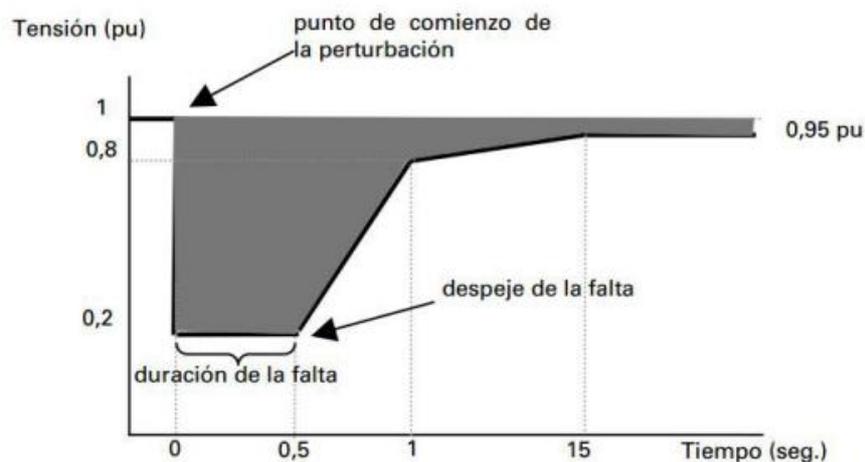
El caso eólico es particular, ya que la curva de generación siempre es altamente variable. Además, los aerogeneradores sólo pueden producir energía eléctrica con vientos desde 4 a 9 km/h; para vientos menores no se alcanza a mover las aspas con la velocidad necesaria y, para vientos superiores, el aerogenerador presenta riesgos de sobre revolución, pudiendo incluso estallar, es por esto que algunos poseen un sistema de control para su protección. Una manera es cambiar la dirección de las aspas para aprovechar menos eficientemente la velocidad del viento y otra manera es desconectarse de la red eléctrica para que el torque causado por una ráfaga de viento no quiebre el rotor. Se observa que la generación es tan variable como la velocidad del viento, ciertamente esto se puede solucionar con electrónica de potencia y/o con bancos de baterías, pero los costos crecen considerablemente. (Medina, 2014)

Un hueco de tensión es una disminución transitoria de la tensión de alimentación que puede ser provocada, bien por cortocircuitos y fallos en el sistema hasta que son despejados, o por el arranque de motores cercanos, cuyo gran consumo de intensidad provoca grandes caídas de tensión en las redes de alimentación. Debido al comportamiento de las instalaciones eólicas frente a huecos de tensión, en muchos centros de administraciones de los centros de generación han elaborado un

Procedimiento de Operación en el que se establecen los requisitos que deben cumplir las instalaciones de producción en régimen especial con el fin de garantizar la continuidad de suministro.

Según estos Procedimientos de los sistemas de gestión, el titular de la instalación deberá adoptar las medidas oportunas de diseño y/o control para que todas las instalaciones de generación bajo su titularidad se mantengan acopladas al sistema eléctrico, sin sufrir desconexión debida a huecos de tensión directamente asociados a la existencia de cortocircuitos correctamente despejados que puedan presentarse en el sistema eléctrico. La propia instalación de producción y todos sus componentes deberán ser capaces de soportar sin desconexión huecos de tensión, en el punto de conexión a red, producidos por cortocircuitos trifásicos, bifásicos a tierra o monofásicos, con los perfiles de magnitud y duración indicados. Es decir, no se producirá la desconexión de la instalación para huecos de tensión en el punto de conexión.

Figura 14  
*Hueco de tensión*



*Nota.* Imagen obtenida de blog de Energía Eólica

La variabilidad de la operación de una central eólica afecta a la estabilidad de la red. La estabilidad de un Sistema Eléctrico de Potencia consiste en su capacidad, dado un punto de operación inicial, para seguir en funcionamiento luego de ser sujeto a una

perturbación, manteniendo todas las variables del sistema dentro de un rango aceptable. La estabilidad del sistema se clasifica según las tres variables de interés que la determinan, y a la vez están subdivididas según la magnitud de la perturbación y sus constantes de tiempo. Las variables de interés para el estudio de estabilidad del sistema eléctrico son; las excursiones angulares de los rotores de los generadores sincrónicos conectados al sistema (Estabilidad angular), la tensión en las barras (Estabilidad de Tensión) y la frecuencia (Estabilidad de Frecuencia). (Baeza, 2010)

La estabilidad de frecuencia corresponde a la capacidad del sistema de mantener la frecuencia dentro de un rango cercano a la frecuencia nominal de 50 [Hz] en el caso del Sistema Interconectado Central. Esto se logra manteniendo el balance entre la potencia activa generada y consumida. La inestabilidad se puede producir debido a oscilaciones no amortiguadas de la frecuencia lo cual puede terminar en las desconexiones de centrales o cargas del sistema. La estabilidad de frecuencia a corto plazo está asociada a salidas intempestivas de centrales generadoras o cambios bruscos en la demanda, lo cual puede causar desequilibrios inestables para el sistema provocando la desconexión de más elementos. En cambio, la estabilidad de frecuencia en el largo plazo se debe a descoordinaciones de control y protecciones, o falta de reservas de potencia activa en el sistema para realizar la regulación secundaria de frecuencia y así restablecer el equilibrio. (Baeza. 2010)

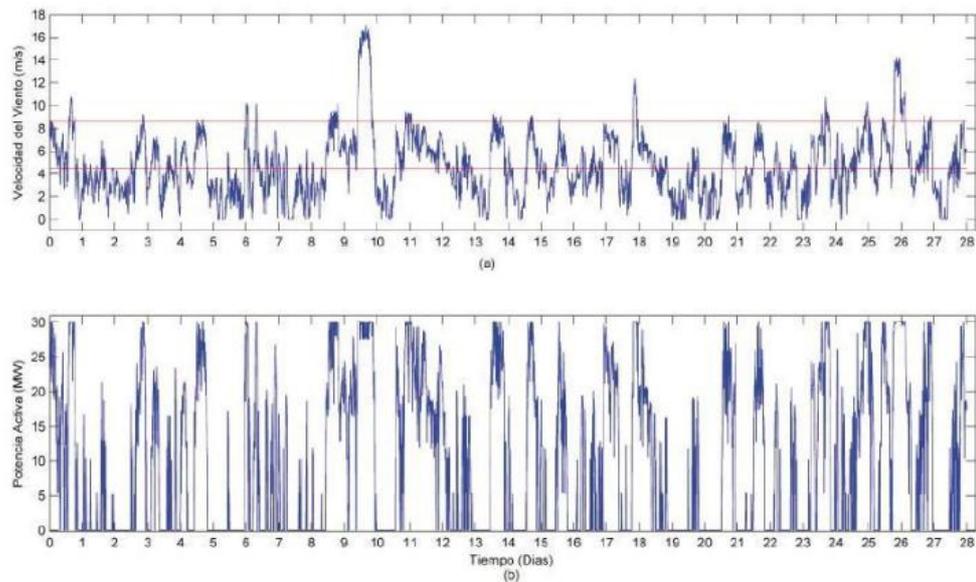
La estabilidad de tensión es la capacidad del sistema de mantener la tensión dentro de un rango preestablecido en todas las barras del sistema, luego de sucedida una falla. La inestabilidad de tensión ocurre cuando existe una constante reducción o aumento descontrolado de la tensión en las barras de un área. El principal factor causante de la inestabilidad de tensión es el desequilibrio de los reactivos en el sistema. (Baeza. 2010)

La estabilidad angular se refiere a la capacidad de mantener el sincronismo de todas las maquinas síncronas conectadas a una misma red, luego de una perturbación. Esto corresponde a mantener el balance entre el torque electromagnético y el torque mecánico de la máquina síncrona. La inestabilidad angular se debe entonces a un desequilibrio entre las fuerzas electromagnéticas y las mecánicas aplicadas a la máquina. (Baeza. 2010)

La figura que se presenta a continuación, muestra un perfil de viento durante 4 semanas y la generación asociada a dicho perfil. (Medina, 2014)

Figura 15

*Velocidad del viento y generación eólica mensual en Chile*



*Nota.* Imagen obtenida de Medina. 2014.

Los desafíos de la imprevisibilidad de la energía eólica: Si bien la energía eólica tiene un potencial significativo, su naturaleza intermitente plantea varios desafíos para la gestión de la red eléctrica. Aquí hay algunos puntos clave a considerar:

- **Inconsistencia en la Generación de Energía:** Las fluctuaciones de la velocidad del viento dan lugar a niveles variables de producción de electricidad, lo que provoca un suministro de energía intermitente y, en ocasiones, situaciones de escasez.
- **Confiabilidad de la red:** La inconsistencia puede sobrecargar la red eléctrica, impactando su estabilidad y confiabilidad, obligando a los operadores de la red a depender de fuentes de energía de respaldo para satisfacer la demanda.
- **Consumo Eficiente de Energía:** Equilibrar el equilibrio entre oferta y demanda se vuelve crucial para optimizar el consumo de energía y minimizar el desperdicio. (Cameron, 2023)

A diferencia de las tecnologías convencionales (tal como carbón, gas y diesel), la generación a través de recursos renovables se caracteriza por ser variable y dependiente de las condiciones climáticas, siendo la energía solar la más estable y menos riesgosa en términos económicos y del recurso a explotar, mientras que la energía eólica es la que mayor desafío presenta, a causa de que sus pronósticos tienen una alta incidencia de variabilidad e incertidumbre. No obstante, en la actualidad, países como España, Holanda y Alemania, han diseñado modelos de predicción que integran las referencias históricas de las antenas de medición, junto con iteraciones matemáticas fundamentadas en datos recabados en tiempo real, por ende, los márgenes de error en sus pronósticos son inferiores a la media mundial. A medida que la generación basada en energías renovables alcance mayores niveles de penetración en la matriz energética mundial, se deberán tomar suficientes previsiones para evitar un incremento de los efectos de la variabilidad sobre los sistemas eléctricos y sus respectivas gestiones. (Eliett, 2018)

Las turbinas eólicas producen más energía de la que se necesita inmediatamente o en algunos casos de lo que realmente se demanda, lo que genera un exceso de energía que debe almacenarse de manera eficiente. Almacenar el exceso de energía eólica es crucial por varias razones:

- Reducir la dependencia de los combustibles fósiles: Al almacenar el exceso de energía, podemos reducir nuestra dependencia de los generadores tradicionales que funcionan con combustibles fósiles. Esto contribuye al objetivo general de lograr una combinación energética más ecológica y sostenible. (Cameron, 2023)
- Mejora de la estabilidad de la red: Almacenar el exceso de energía ayuda a estabilizar la red eléctrica, especialmente en épocas de alta demanda o cuando los recursos eólicos son limitados. Esto garantiza un suministro de energía constante e ininterrumpido para los consumidores.
- Optimización de la generación de energía eólica: Maximizando el uso de la energía eólica, podemos reducir aún más las emisiones de gases de efecto invernadero y combatir el cambio climático de manera eficaz. (Cameron, 2023)

Ventajas clave del almacenamiento de energía en turbinas eólicas

- Estabilizando la red: Los sistemas de almacenamiento de energía permiten que las turbinas eólicas proporcionen un suministro de energía constante y consistente, reduciendo la inestabilidad de la red causada por las fluctuaciones de energía.
- Maximizar la generación de energía renovable: Con el almacenamiento de energía, los parques eólicos pueden capturar y almacenar el exceso de electricidad, garantizando que no se desperdicie energía limpia. Esto maximiza la utilización de fuentes de energía renovables. (Cameron, 2023)
- Mejora de la resiliencia de la red: Al integrar el almacenamiento de energía, las turbinas eólicas pueden ayudar a mantener la estabilidad de la red durante eventos inesperados, como caídas repentinas en la velocidad del viento o fallas en los equipos.
- Facilitar el comercio de energía: El almacenamiento de energía permite a los parques eólicos almacenar electricidad durante períodos de baja demanda y venderla durante los picos de demanda, optimizando el comercio de energía y las operaciones de la red. (Cameron, 2023)

#### **2.4 Sistemas BESS.**

Un BESS es un sistema de almacenamiento formada por baterías, convertidor DC/AC, BMS, controlador, sistema de protección, transformador y un sistema de gestión de temperatura. La unidad funcional de estos sistemas de almacenamiento electroquímico son las baterías. Los sistemas electroquímicos reversibles se componen de un contenedor de electrolito y dos polos de polaridad inversa, inmersos dentro del electrolito. Dentro del circuito interior se tiene una sustancia química activa de polo positivo y uno negativo, llamado cátodo y ánodo. Estos dispositivos están sumergidos dentro de una sustancia química activa llamada electrolito. El circuito exterior contiene los bornes que vienen hacer los contactos eléctricos; el cableado exterior, la impedancia interna de carga; y el rectificador. (Parada, 2019)

Las baterías son los componentes básicos de los BESS, y representan el porcentaje más alto del total de la inversión a realizar en un sistema de este tipo. Las baterías se componen de celdas que están conectadas en circuito en serie y/o paralelo formando un módulo con un nivel de tensión y capacidad. La distribución o arreglos de las baterías

dependerá del nivel de voltaje requerido, el cual fluctúa entre valores en corriente directa de 400 a 1 200 voltios. Las tensiones límite son función del tipo de tecnología seleccionada y sus respectivos valores de seguridad. Por ejemplo, en una batería que emplee plomo-ácido se toleran tensiones de hasta 2 000 Vdc; en sistemas NiCd se puede emplear tensiones de hasta 4 000 V.

Una batería de ion de litio o batería Li-Ion es un tipo de batería recargable que utiliza compuestos de litio como uno de los electrodos. Las baterías de ion de litio se componen de las siguientes partes: un electrodo negativo o ánodo de donde salen los electrones y un electrodo positivo o cátodo que los recibe. Cuando se conecta la batería, los iones de litio se mueven desde el ánodo hasta el cátodo a través de un electrolito, dando lugar a la diferencia de potencial que produce la corriente. Cuando se carga la batería, los iones de litio vuelven al ánodo. (Iberdrola, 2023)

Las baterías, a su vez, se componen de una o varias celdas y, dependiendo de su uso final, existen diferentes tipos: las celdas cilíndricas, usadas en la mayoría de vehículos eléctricos, consisten en láminas de distintos componentes que se enrollan hasta formar un cilindro, mientras que las celdas planas, como las que integran los teléfonos móviles y ordenadores portátiles, utilizan polímero de iones de litio en forma de láminas apiladas. (Iberdrola, 2023)

Un sistema de gestión de baterías o BMS está conformado por el hardware y un software con el cual se controlan la carga y descarga de una batería con el cual se garantiza al mismo tiempo una operación de alta confiabilidad y segura. Esto implica la administración eficiente desde el control de los niveles de corriente y tensión generados, las condiciones de carga y descarga, de la gestión térmica del sistema interno, del balance en tensión entre las celdas, etc. Un sistema de gestión permite incrementar la vida útil, eficiencia y seguridad de la operación del sistema de almacenamiento sometido a constantes procesos de carga y descarga. Cuentan con dos importantes funciones: la operación y el control de la operación. (Parada, 2019)

Figura 16

*Sistema de BESS para sistemas de potencia*



*Nota.* Imagen obtenida de:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/16690/Tesis.pdf?sequence=1>

Las características técnicas principales para un el dimensionamiento de un sistema BESS

son:

- Capacidad energética: Cantidad máxima de energía almacenada (en kWh o MWh).
- Duración del almacenamiento: En función a la potencia y la energía almacenada.
- Ciclo de vida/vida útil: Es la cantidad de tiempo o ciclos de almacenamiento que una batería puede proporcionar de carga y descarga.
- Eficiencia de carga-descarga (round-trip efficiency): Expresado en porcentaje. Es una relación entre la energía cargada y descargada de una batería, considerando la eficiencia total del BESS, las pérdidas por autodescarga y otras pérdidas eléctricas de baterías, los convertidores y la profundidad de descarga.
- Energía de ciclo de vida efectiva (effective energy throughput): energía total que el banco de baterías puede entregar durante su vida útil (Maza & Pérez, 2022)

Los sistemas de almacenamiento en baterías son modulares y se acomodan a las necesidades y aplicaciones que les dará el comprador. Dependiendo del proveedor se ofrecen sistemas integrados donde vienen todos los equipos necesarios para entregar la potencia y energía requerida. Los equipos necesarios dependen entre muchas cosas de: condiciones ambientales; tecnología de las baterías; nivel de tensión de la barra de conexión. (Maza & Pérez, 2022)

Figura 17

*BESS con componentes*

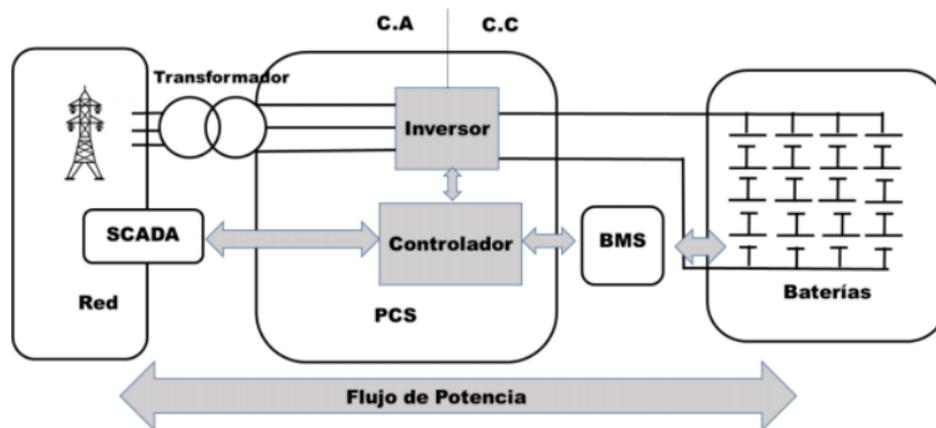


Figura 4: BESS con equipos esenciales

*Nota.* Imagen obtenida de tesis Maza & Pérez.

Los componentes esenciales de un BESS son: baterías; conversor CC-CA; sistema de gestión de baterías en inglés Battery Management System (BMS); controlador maestro; y un sistema de protecciones y relés. Además, el BESS podría necesitar un sistema de gestión térmico en caso de temperaturas extremas; filtros de armónicos; convertidores DC-DC tipo chopper; tableros de potencia en caso de servicios auxiliares; sistema de comunicación y algún otro elemento dependiendo de la situación. (Maza & Pérez, 2022)

A continuación, se presentan las principales partes de un BESS:

**Sistemas o módulos de baterías:** Son conjuntos de celdas de baterías individuales que convierten energía química (almacenada en la batería) en energía eléctrica (utilizada en el inmueble). Las celdas están dispuestas en módulos que, a su vez, forman paquetes de baterías conectados en serie y en paralelo para la capacidad requerida. (Enlight, 2022)

**Sistema de gestión de batería (BMS):** Un Battery Management System garantiza la seguridad del sistema, pues supervisa el estado de las celdas de la batería y mide sus parámetros y estados, como el estado de carga (SOC, por sus siglas en inglés) y el estado de salud (SOH, por sus siglas en inglés). Además de lo anterior, protege a las

baterías de incendios y otros peligros que puedan suscitarse por las reacciones químicas, monitoreando continuamente el voltaje, la temperatura, advertencias de incendio y regulando la potencia de carga y descarga dependiendo de la señal de entrada. (Enlight, 2022)

Inversor o sistema de conversión de energía (PCS) : Un inversor o Power Conversión System convierte la corriente continua (DC), producida por las baterías, en corriente alterna (AC), suministrada a las instalaciones. Como mencionamos anteriormente, los BESS tienen inversores bidireccionales que permiten tanto la carga como la descarga del sistema. (Enlight, 2022)

Sistema de gestión de energía (EMS). El Energy Management System es responsable de monitorear y controlar el flujo de energía dentro de un BESS. El EMS es el encargado de coordinar el trabajo del sistema de gestión (BMS), de coordinar el inversor (PCS) y de también gestionar los otros componentes del sistema, siempre tomando decisiones basadas en el perfil de carga de la ubicación. La lógica de control se ejecuta en el EMS, proporcionando señal de entrada al PCS para carga/descarga según el requisito programado. Al recopilar y analizar datos de energía, un EMS puede administrar eficientemente los recursos de energía del sistema, siendo similar al cerebro de los BESS. (Enlight, 2022)

Asimismo, dependiendo de su funcionalidad y condiciones de operación, los sistemas de almacenamiento de energía de baterías también pueden incluir una gama de sistemas de seguridad, como un sistema de control de incendios, detector de humo, sistema de control de temperatura, ventilación y aire acondicionado. Los sistemas de seguridad cuentan con sus propias unidades de monitoreo y control que brindan las condiciones necesarias para la operación segura de un BESS al monitorear sus parámetros y responder a emergencias rápidamente. (Enlight, 2022)

La integración de sistemas de almacenamiento de energía con turbinas eólicas supone un punto de inflexión para las energías renovables. A medida que la tecnología continúa avanzando, podemos esperar mejoras aún mayores en eficiencia y rendimiento en este ámbito. Aquí hay algunas conclusiones clave para el futuro:

- Crecimiento continuo del almacenamiento de energía: el mercado del almacenamiento de energía se expandirá aún más, con avances en la tecnología de baterías y la caída de costos impulsando su adopción.
- Tecnologías de almacenamiento innovadoras: los esfuerzos de investigación y desarrollo se centran en mejorar las tecnologías de almacenamiento, como baterías de flujo, almacenamiento de energía con aire comprimido y volantes avanzados. (Cameron, 2023)
- Aplicaciones a escala de red: Los sistemas de almacenamiento de energía desempeñarán un papel crucial al permitir el almacenamiento a escala de red, facilitando la integración de fuentes de energía renovables como la eólica y la solar en la infraestructura eléctrica existente.
- Apoyo a políticas e inversiones: Los gobiernos de todo el mundo están reconociendo la importancia del almacenamiento de energía e implementando políticas de apoyo e incentivos financieros para acelerar su implementación en turbinas eólicas y otros sistemas de energía renovable. (Cameron, 2023)

La integración de tecnologías de almacenamiento de energía presenta varios beneficios y conclusiones clave:

Estabilidad y confiabilidad de la red.

- Los sistemas de almacenamiento de energía ayudan a mitigar la variabilidad de la energía eólica, garantizando la estabilidad y confiabilidad de la red.
- Al almacenar el exceso de energía y liberarla cuando sea necesario, el almacenamiento de energía minimiza las fluctuaciones y optimiza la transmisión de energía.
- Esto contribuye a una red eléctrica más confiable y resistente. (Cameron, 2023)

Maximizar la generación de energía renovable

- Al superar las limitaciones de la variabilidad de la energía eólica, el almacenamiento de energía permite la máxima utilización de energía renovable.
- Garantiza que la energía generada por las turbinas eólicas no se desperdicie durante períodos de baja demanda.

- Esto maximiza los beneficios económicos y ambientales de la energía eólica. (Cameron, 2023)

#### Integración fluida en redes existentes

- Los sistemas de almacenamiento de energía facilitan la perfecta integración de la energía eólica en las redes existentes.
- El almacenamiento del exceso de energía eólica permite un suministro de energía más predecible y controlable, lo que facilita la gestión de la combinación energética general de la red.
- La flexibilidad que ofrecen las soluciones de almacenamiento de energía allana el camino para una transición más rápida y fluida hacia un futuro de energía renovable. (Cameron, 2023)

La gestión de la energía puede definirse como el uso adecuado de la energía para lograr los objetivos previstos. Hoy en día existe una amplia gama de servicios prestados por los BESS en todo el mundo. La escala de tiempo de respuesta de los BESS necesaria para estas aplicaciones oscila entre segundos y algunas horas. También existen aplicaciones de almacenamiento asociadas a escalas de tiempo más largas (más de un día) pero éstas están asociadas sobre todo a redes aisladas. (GIZ, 2022)

El afeitado de picos, o peak shaving en inglés se refiere a la reducción de la demanda máxima de energía eléctrica. La Figura 17 muestra el principio de esta aplicación utilizando un BESS. El consumo durante el periodo de máxima demanda se desplaza a otros periodos de menor demanda, aplanando la curva. Esto tiene beneficios para la red, ya que puede reducir sus congestiones e incluso aplazar inversiones. Para los consumidores finales, se puede conseguir un beneficio económico si su tarifa correspondiente tiene un componente de costo relacionada a la demanda máxima o demanda pico. Un riesgo importante de esta aplicación es la posibilidad de que la batería no funcione de manera adecuada un día del periodo de facturación. Debido a que este componente del costo tiene en cuenta la demanda máxima registrada durante el mes o el bimestre en su totalidad, un fallo en la reducción de demanda máxima de un día puede hacer que no se obtenga ningún beneficio. (GIZ, 2022)

Figura 18

*Gestión del rasurado de picos*



*Nota.* Imagen obtenida de GIZ 2022.

El arbitraje de energía se refiere a la gestión del consumo y el suministro de energía en un contexto de precios variables. Tradicionalmente, en un mercado liberalizado, los precios varían durante el día, reflejando el excedente o el déficit de generación de energía, así como otros factores, como la congestión de la red. Estas variaciones pueden tener una gran volatilidad. Por lo tanto, un BESS puede obtener beneficios o reducir los costos al consumir energía barata e inyectar energía cara. Esto también se traduce en una reducción del impacto de la volatilidad de los precios en los gastos de la empresa. Sin embargo, el controlador del BESS para carga y descarga es complejo, ya que las decisiones deben tomarse en función de los precios futuros previstos. (GIZ, 2022)

En el caso de los consumidores con tarifas mensuales fijas, el arbitraje de energía puede presentar un beneficio cuando dicha tarifa es por tiempo de uso (TOU). En estos casos puede haber dos o más precios durante el día en periodos fijos. La batería puede programarse para cargar durante el periodo de precio bajo y vender o reducir el consumo durante el periodo de precio alto. El control asociado a esta operación es mucho más sencillo que el asociado a los precios variables del mercado liberalizado, aunque normalmente las ganancias son menores. (GIZ, 2022)

En caso de apagones o cortes del sistema, el BESS puede utilizarse para proporcionar energía de respaldo al usuario final, manteniendo la continuidad del suministro y evitando detener la producción o los servicios ofrecidos. La frecuencia de los cortes depende de la confiabilidad de la red. Sin embargo, para ciertos procesos o servicios críticos es vital contar con energía de respaldo que tradicionalmente se proporciona mediante generadores diésel. En algunos casos, por ejemplo, en la industria, este respaldo puede ayudar a terminar el proceso de producción y apagar las máquinas correctamente para evitar que se pierda el producto o se produzcan daños en a las mismas. En otros casos, el respaldo debe cubrir toda la duración de la interrupción, como es el caso de los hospitales. (GIZ, 2022)

Los sistemas de almacenamiento de baterías regulan la frecuencia en la red, asegurándose que ésta se encuentre dentro del rango requerido. Esto es importante debido a que, si la cantidad de energía que se genera no está equilibrada con la demanda de electricidad real, la frecuencia puede exceder o caer por debajo de su valor nominal, pudiendo ocasionar desconexiones temporales, cortes de energía o apagones. Los BESS, además de reaccionar inmediatamente a las interrupciones de energía, proporcionan una respuesta de frecuencia menor a un segundo estabilizando la red y protegiendo maquinaria sensible a variaciones en el voltaje. Además, también puede garantizar la estabilidad de la tensión, manteniendo su nivel dentro del rango especificado. (Enlight, 2022)

El tamaño de una batería se compone de la potencia máxima necesaria, así como de la cantidad de energía que debe almacenarse. Por consiguiente, la determinación de estos dos parámetros dependerá de la aplicación correspondiente. Para cada una hay que tener diferentes consideraciones y existen distintas estrategias de dimensionamiento. Las siguientes preguntas ayudarán a determinar el procedimiento correcto:

- ¿Es un sistema autónomo o híbrido?
- ¿Cuál es el perfil del consumidor por hora? (GIZ, 2022)

Los principales resultados que hay que obtener con estas preguntas y un posterior análisis son:

- Perfil de la generación.

- Perfil de consumo con demanda máxima y energía media diaria identificada.
- Perfil y previsión de precios. (GIZ, 2022)

Para determinar el tamaño del banco de baterías se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Días de autonomía: cantidad de días que la batería es capaz de suministrar una corriente constante.
- Capacidad: cantidad de carga que el banco de baterías puede almacenar para asegurar los días de autonomía. En cuanto a la densidad, indica la cantidad de energía que se puede almacenar en un volumen determinado. En ubicaciones donde el área es un factor limitante, es importante tomar en cuenta esta característica, por ejemplo, en una instalación industrial ubicada en una zona urbana donde el espacio podría ser reducido. (Maza & Pérez, 2022)
- Profundidad de descarga (DOD): Nivel máximo de descarga que una batería puede entregar antes de afectar su ciclo de vida útil. La energía almacenada tienen una energía neta disponible menor, dado que no pueden ser descargadas de forma completa. El ciclo profundo a menudo se define como un 80% o más. Mantenerse dentro del DoD máximo recomendado es importante para un rendimiento y una vida útil óptimos de la batería. Por ejemplo, si el fabricante de una batería de 100 kilowatts-hora (kWh) recomienda una DoD máxima del 80%, no se deberían usar más de 80 kWh de la batería sin recargar. (Maza & Pérez, 2022)
- Tiempo de respuesta: Es el tiempo que necesita un BESS para pasar del estado inactivo y comenzar a funcionar a plena potencia. El tiempo de respuesta es un buen parámetro para saber qué tan flexible es un Battery Energy Storage System en relación con los demás sistemas de almacenamiento de energía. Los sistemas BESS tienen un tiempo de respuesta muy corto (milisegundos), lo cual es una ventaja para suplir cortes en el suministro eléctrico o intermitencias de la red. (Enlight, 2022)
- La temperatura puede tener efectos en el rendimiento final del sistema. Por lo mismo, es importante, sobre todo en climas extremos, contar con sistema de control de temperatura, ventilación y aire acondicionado. Los sistemas BESS

cuentan con contenedores con diversos certificados que garantizan que pueden estar a la intemperie. Además, como se mencionó en la sección de Componentes, los sistemas de seguridad de los BESS tienen unidades de monitoreo y control para la operación segura que vigilan constantemente sus parámetros y responden a emergencias rápidamente. (Enlight, 2022)

- La pérdida vida útil del BESS se debe al desvanecimiento de los materiales activos causado por los ciclos de carga y descarga. Por el caso de BESS con profundidad de descarga por debajo de un 20% de su capacidad de carga o más del 80% de profundidad de descarga (DoD), envejecen más rápido. Por ejemplo, una celda de batería de litio níquel-manganeso-cobalto (litio-NMC) de 7 vatios-hora puede realizar más de 50.000 ciclos al 10% de profundidad de ciclo, lo que produce un rendimiento energético de por vida (la cantidad total de energía cargada y descargado de la celda) de 35 kWh. Pero la misma celda ciclada al 100% de profundidad de ciclo puede funcionar solo 500 ciclos, lo que produce un rendimiento energético de por vida de solo 3,5 kWh. (Enlight, 2022)

Un sistema BESS se caracteriza por dos parámetros: la capacidad energética (MWh), dada por el sistema de baterías, y la potencia máxima de pico (MW), dada por el inversor. El fabricante, además, debe proporcionar una estimación de la vida de la batería en función del número de ciclos de carga/descarga diarios que el cliente estime. De esta manera, se pueden escoger las baterías para dar la máxima potencia al principio de la vida útil de la misma (Beginning Of Life o BOL) o al final (End Of Life o EOL). Adicionalmente, las baterías se pueden clasificar según un factor “C” o “C Rating”, es decir, un indicador de la velocidad de descarga continua a la que puede llegar, como máximo. Tal indicador se obtiene a partir de la relación entre la potencia del inversor instalado y la capacidad energética de la batería. (Maza & Acosta, 2022)

### III. MATERIAL Y MÉTODO.

#### 3.1 Material

##### 3.1.1 Información técnica de la central eólica.

Figura 19

*Aerogenerador de central Eólica de Cupisnique*



*Nota.* Imagen obtenida de Empresa Energía Eólica S.A.

Tabla 2

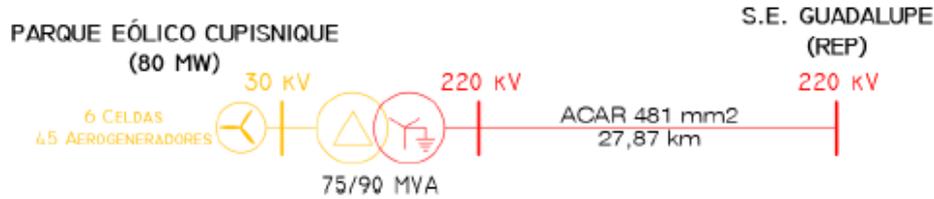
*Información Técnica de Central Eólica de Cupisnique*

<b>Detalle</b>	<b>Característica</b>
Ubicación	La Libertad/Pacasmayo/Cupisnique
Altura	20 msnm
Potencia instalada	45 x 1,85 MW= 83,25 MW
Cantidad de Circuitos de Aerogeneradores	6 (4 x 12,6 MW, 1 x14,4 MW y 1 x 16,9 MW)
Punta de oferta	Barra Guadalupe 220 kV
Conexión al SEIN	LT. 220 kV S.E. Cupisnique-S.E. Guadalupe, de simple terna de 27,87 km
Nivel de Tensión de Transformadores	0,69/30 kV (2,1 kVA)
Factor de Potencia de Generadores	0,95

*Nota.* Información obtenida de Osinergmin 2024.

Figura 20

Diagrama Unifilar Central Eólica de Cupisnique



Nota. Información obtenida de Osinergmin 2024.

Tabla 3

Información Relevante de Central Eólica de Cupisnique

Característica
La marca y modelo de los aerogeneradores instalados es VESTAS, modelo V100 de 1,8 MW, Tecnología Asynchr. with wound roto el cual posee un rotor a barlovento equipado con tres palas a 120° entre ellas.
Dentro de cada aerogenerador, se encuentran la caja multiplicadora, el generador eléctrico, el transformador de baja tensión a media tensión y los equipos de control. Cada aerogenerador V100 de 1,8 MW está provisto de un transformador trifásico tipo seco, con refrigeración forzada por aire, ubicado en la parte trasera de la góndola (sus características principales son: potencia primaria 2 100 kVA, potencia secundaria (690 V) 1900 kVA, potencia secundaria (480 V) 200 kVA, frecuencia 60 Hz, tensión primaria 30 kV y tensión secundaria 690/480 V.)
La torre metálica que soporta al aerogenerador es de 80 m (3 cuerpos).
Velocidad mínima del viento para la conexión 4 m/s
Velocidad máxima del viento para la desconexión 20 m/s
Diametro 100 m / Longitud de palas 49,0 m
Transformador del aerogenerador : Seco. Dyn5. Tension de corto circuito 7%

Nota. Información obtenida de Osinergmin 2024.

Tabla 4  
*Información Comercial de Central Eólica de Cupisnique*

<b>Detalle</b>	<b>Característica</b>
Firma de contrato	31.03.2010
Puesta en Operación (POC)	30.08.2014
Energía anual ofertada	302 952 MWh
Precio de energía ofertada	85 U\$/MWh
EIA aprobado	R.D. N° 008-2011-MEM/AAE del 07.01.11
Estudio de Operatividad	Carta COES/D/DP-343-2014 del 17.03.2014
Monto de la Inversión	242 MM US\$,

*Nota.* Información obtenida de Osinergmin 2024.

### 3.1.2 Estadísticas de generación por año.

Tabla 5  
*Generación de energía en GWh/mes 2023-2018*

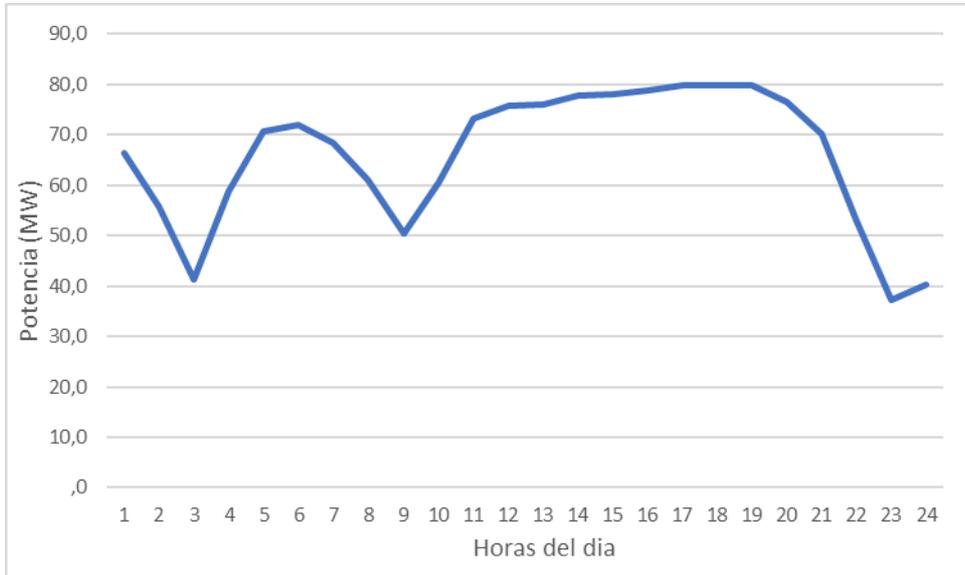
<b>Mes</b>	<b>2023</b>	<b>2022</b>	<b>2021</b>	<b>2020</b>	<b>2019</b>	<b>2018</b>
Enero	24,70	29,80	31,25	29,52	24,54	27,08
Febrero	14,04	19,75	22,57	28,86	16,67	18,34
Marzo	11,86	16,07	22,52	28,08	29,14	23,95
Abril	18,71	30,78	28,05	33,06	34,16	23,05
Mayo	26,40	38,59	23,95	29,17	30,04	30,75
Junio	21,91	33,16	16,16	29,60	26,91	16,95
Julio	18,62	27,35	17,72	27,03	25,40	19,14
Agosto	20,22	26,39	27,20	31,63	17,27	18,61
Setiembre	27,34	33,27	27,54	32,39	28,17	27,26
Octubre	34,00	34,59	34,80	31,14	31,64	26,70
Noviembre	32,91	24,30	32,44	34,16	25,04	26,33
Diciembre	30,54	27,49	33,62	34,49	28,79	26,31
Total	281,25	341,54	317,82	369,13	317,77	284,47

*Nota.* Información obtenida de COES 2024.

3.1.3 Perfiles de carga octubre 2023.

Figura 21

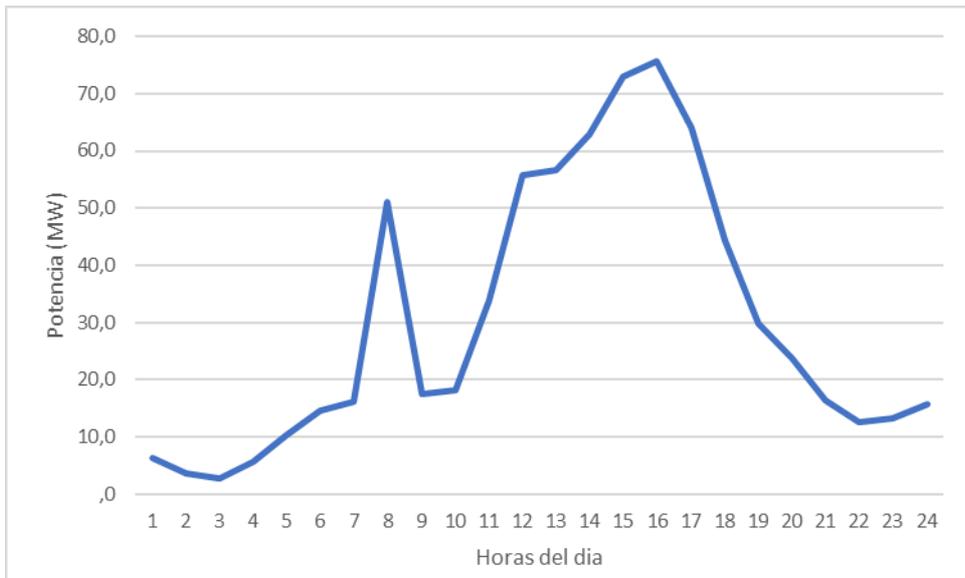
*Diagrama de generación 30.10.2023 Central Eólica de Cupisnique*



*Nota.* Información obtenida de COES 2024.

Figura 22

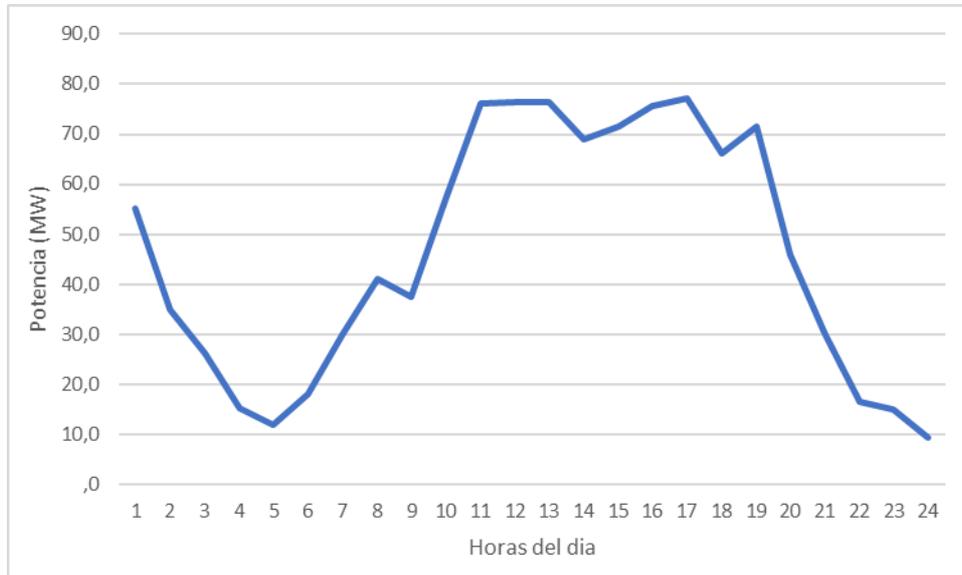
*Diagrama de generación 20.10.2023 Central Eólica de Cupisnique*



*Nota.* Información obtenida de COES 2024.

Figura 23

Diagrama de generación 10.10.2023 Central Eólica de Cupisnique



Nota. Información obtenida de COES 2024.

### 3.2 Método.

#### 3.2.1 Metodología.

Método de la investigación.

La presente investigación es del tipo pre -experimental, de naturaleza descriptiva.

El diseño de la investigación es no experimental, ya que no manipula deliberadamente variables. Se basa en la observación de los fenómenos tal y como se presentan en su contexto natural y luego son analizados. Y de tipo longitudinal, cuando se requiere analizar cambios por parte del investigador a través del tiempo en determinadas variables o analizar las relaciones entre estas.



I: Gestión de despacho actual de Central Eólica Cupisnique sujeto a variabilidad del recurso Eólico.

S: Gestión de despacho eficiente de Central Eólica Cupisnique

X: Parámetros de sistema BESS.

G.E: Central Eólica de Cupisnique.

### 3.2.2 Método de cálculo.

Se tiene en cuenta la siguiente secuencia

- a. Se determina los indicadores de desempeño de la central eólica.

El factor de planta o factor de utilización de una central de energía es el cociente entre la energía real generada por la central de energía y la energía generada cuando la central de energía opere 100% de capacidad, evaluado generalmente en un mes o al año. Dependiendo del recurso energético empleado, el factor de planta varía notablemente como es el caso de las centrales eólicas, con valores entre 40 a 54 %.

El factor de planta diaria para una central eólica se determina según la siguiente ecuación:

$$FP_{CE} = \frac{\text{Energía media diaria generada}}{\text{Potencia efectiva} * 24} * 100 \% \dots (2)$$

Se determino el valor medio de la Potencia efectiva a inyectar:

$$Potencia\ efectiva\ inyectar_{CE} = \frac{\text{Energía media diaria generada}}{24} \dots (3)$$

Para la determinación de la potencia efectiva a inyectar se aplicó un análisis estadístico con el programa SPSS.

$$Potencia\ efectiva\ real\ a\ inyectar_{CE} = \frac{\sum_{i=1}^n Potencia\ efectiva\ inyectar_{CE}}{n} \dots (4)$$

La Potencia efectiva a almacenar es:

$$\begin{aligned} &Potencia\ efectiva\ a\ almacenar_{CE} \\ &= Potencia\ efectiva\ real\ producida_{CE}\ para\ un\ i-dia \\ &- Potencia\ efectiva\ real\ a\ inyectar_{CE} \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

- b. Para la selección del mes típico a evaluar representativo de una serie de 12 meses que incluye mayo 2023 a abril del 2024, se trabajará con el mes de mayor generación escogido de la muestra anual (12 meses)
- c. Para la determinación de las características para la selección del sistema BESS tendrá en cuenta 2 alternativas de solución:  
La primera alternativa de solución involucra en generar a una única potencia la cual es igual a:

$$\text{Potencia inyectada constante} = \frac{\text{Energía generada al día}}{24 \text{ h}} \dots \dots (6)$$

Del mismo modo se determinará la potencia inyectada máxima del sistema BESS que será igual a la reducción de la potencia inyectada:

$$\text{Reducción de potencia inyectada} = \text{Potencia máxima} - \text{Potencia inyectada constante.} (7)$$

Del mismo según los diagramas de carga del mes típico de evaluación, se integrarán las curvas de energía para determinar la inyección de energía de la Central Eólica.

De forma gráfica se determinará el valor máximo de potencia inyectada por el BESS. Según criterios a establecer en cada caso a evaluar.

Se tendrán en cuenta 5 casos en función al valor del percentil estadístico.

Caso 1: Con valor de máximo valor del factor de carga, que está sobre el percentil 75.

Caso 2: Con valor igual a la mediana del factor de carga de la serie de datos del mes a evaluar.

Caso 3: Con un valor de factor de carga ubicado dentro del percentil 50.

Caso 4: Con un valor a un factor de carga ubicado dentro del percentil 25.

Caso 5: Con un valor a un factor de carga del día de menor del mes a evaluar.

La segunda alternativa de solución involucra operar con sistema eficiente de gestión para operar el BEES con la central eólica.

Se tienen en cuenta los siguientes casos:

Caso 1: Con valor de máximo valor del factor de carga, que esta sobre el percentil 75, para ello se toma en cuenta el valor de la Potencia efectiva en función al valor de la mediana.

Luego se realiza integración de la curva de inyección de energía de la Central Eólica.

Seguidamente se determina la energía almacenada en los BESS igual a:

$$\begin{aligned}
 & \text{Energía almacenada BESS} \\
 & = \text{Energía diaria generada} \\
 & - \text{Energía cubierta por la central eólica ... .. (7)}
 \end{aligned}$$

Se determina la potencia máxima de almacenamiento.

Y el valor máximo de potencia inyectada por el BESS y la potencia inyectada por todo el sistema en conjunto.

Se tendrán en cuenta 4 casos más en función al valor del percentil estadístico.

Caso 2: Con valor igual a la mediana del factor de carga de la serie de datos del mes a evaluar y con la potencia del caso 1.

Caso 3: Con un valor de factor de carga ubicado dentro del percentil 50.

Caso 4: Con un valor a un factor de carga ubicado dentro del percentil 25.

Caso 5: Con un valor a un factor de carga del día de menor del mes a evaluar.

d. Para el dimensionamiento del Sistema BESS se empleó las siguientes ecuaciones:

Teniendo en cuenta:

Capacidad máxima de carga de batería a1 80% de su capacidad nominal

Capacidad mínima de descarga de batería a1 20% de su capacidad nominal.

La capacidad del BESS se determina según la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad BESS (MWh)} = \frac{\text{Potencia requerida (MW)} * \text{Duracion de descarga(h)}}{\text{Profundidad de descarga} * \text{Eficiencia de la Bateria}} \dots (6)$$

Factor de sobredimensionamiento: Factor por el que hay que multiplicar el tamaño del BESS para tener en cuenta la degradación, las pérdidas de eficiencia, el DoD y el crecimiento de los consumidores.

DoD es la característica técnica específica de la tecnología BESS considerada. También puede utilizarse un promedio para diferentes tecnologías. Normalmente se indica en %.

Eficiencia. La característica técnica específica de la tecnología BESS considerada. También puede utilizarse un promedio de diferentes tecnologías. La eficiencia puede darse como eficiencia de ida y vuelta, o como dos parámetros: eficiencia de carga y de descarga. Sin embargo, las eficiencias de ida y vuelta suelen considerar los procesos de conversión AC/DC/AC.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

##### 4.1 Caracterización de la Central Eólica.

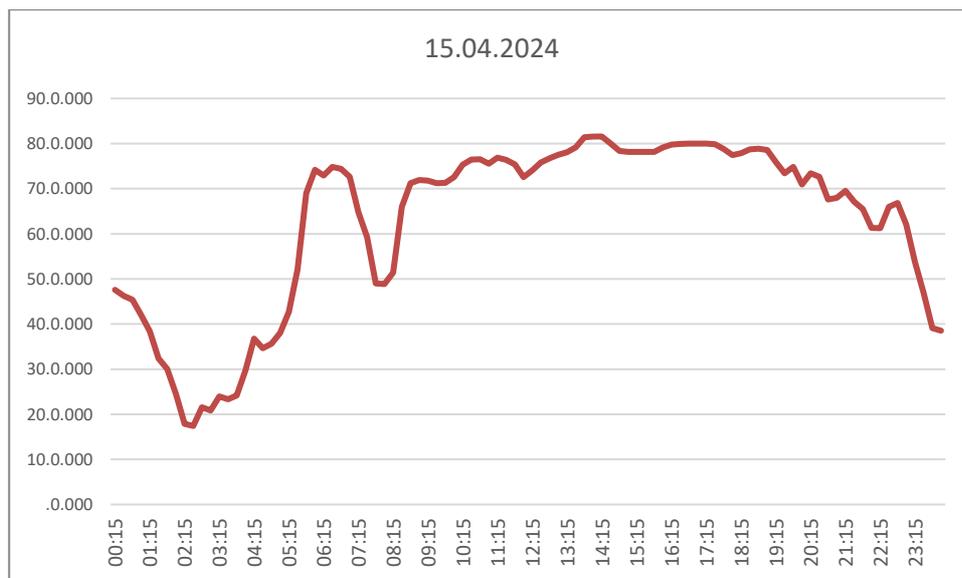
###### 4.1.1 Referente a la energía generada y el factor de carga.

Se realizó el análisis para el periodo de un año Junio-2023 a mayo-2024.

Se presenta el diagrama de carga para el día de máxima generación de energía para el mes de abril 2024, según el punto de medición 504 del SEIN. Alcanzándose un valor de 1 504,5 MWh. En la cual se observa en horas de medianoche y madrugada (entre las 23.30 a 06.15 del siguiente día) una reducción de la generación de energía. En la cual se observa una producción estable en las horas diurnas con un valor máximo de producción de alcanzándose picos de producción de hasta 81,6 MW, un valor de la mediana de 71,8, un valor medio de 62,7 y un valor mínimo de 17,4 MW.

Figura 24

*Diagrama de máxima generación de abril-2024 Central Eólica de Cupisnique*



*Nota.* Información obtenida de COES 2024.

El factor de carga es igual a:

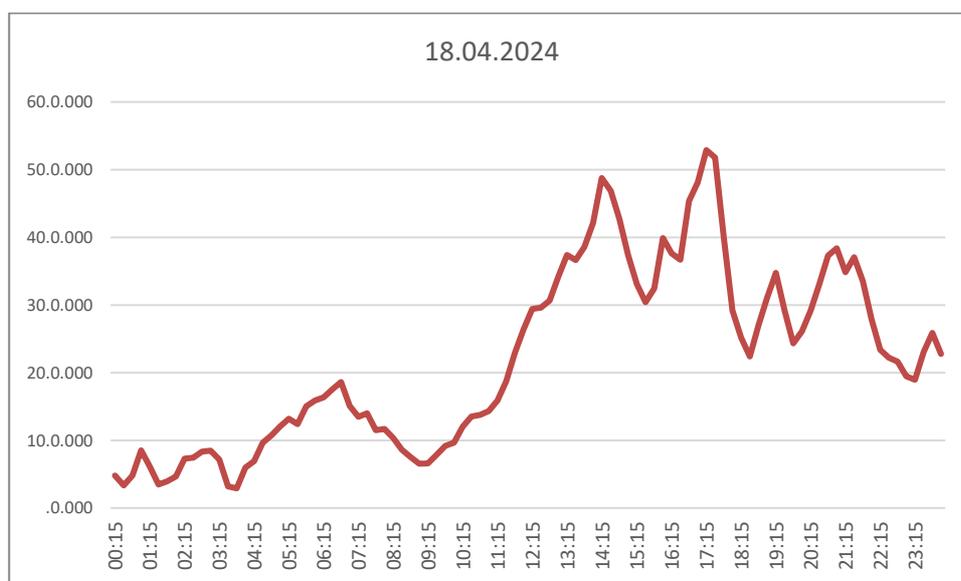
$$\text{Factor de Carga} = \frac{1\,504,5 \text{ MWh}}{83,25 \text{ MW} * 24h} = 0,753 = 75,3\%$$

Por otro lado, se presenta el diagrama de carga para el día de mínima generación de energía para el mes de abril 2024, según el punto de medición 504 del SEIN.

Alcanzándose un valor de 527,2 MWh. En la cual se observa una producción inestable alcanzándose picos de producción de hasta 52,9 MW, un valor de la mediana de 20,54, un valor medio de 21,9 y un valor mínimo de 2,9 MW.

Figura 25

*Diagrama de mínima generación de abril-2024 Central Eólica de Cupisnique*



*Nota.* Información obtenida de COES 2024.

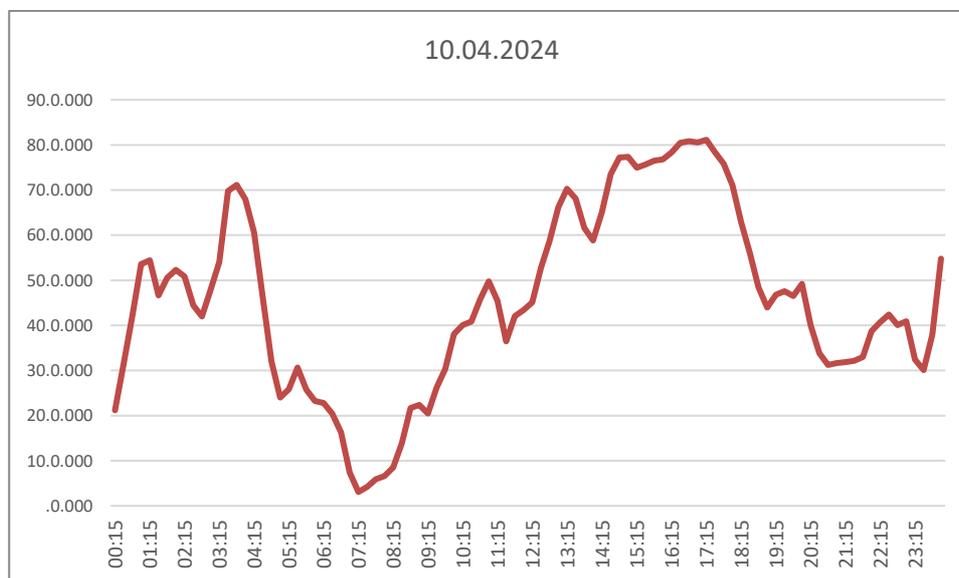
El factor de carga es igual a:

$$Factor\ de\ Carga = \frac{527,2\ MWh}{83,25\ MW * 24h} = 0,264 = 26,4\%$$

Del mismo modo se presenta el diagrama de carga para el día del valor más cercano a la mediana del factor de carga del mes de abril 2024, según el punto de medición 504 del SEIN. Alcanzándose un valor de 1 094,7 MWh. En la cual se observa una producción inestable en todo el día 10 de abril, alcanzándose picos de producción de hasta 81,14 MW, un valor de la mediana de 44,76, un valor medio de 45,6 y un valor mínimo de 3,07 MW.

Figura 26

*Diagrama de generación cercano al valor de la mediana de abril-2024 Central  
Eólica de Cupisnique*



*Nota.* Información obtenida de COES 2024.

El factor de carga es igual a:

$$\text{Factor de Carga} = \frac{1\,099,7 \text{ MWh}}{83,25 \text{ MW} * 24h} = 0,550 = 55,0\%$$

Del mismo modo se presenta la información analizada estadísticamente para el año 2024, entre mayo 2023 a abril 2024. Se tiene un valor medio del factor de carga de 44,09% y un valor de la mediana de 44,69%, y según el valor de la asimetría de -0,203, se concluye que contiene una asimetría negativa sesgada a la derecha, con la mayor de sus valores concentrados en la parte derecha de la curva normal. Del mismo modo, el valor de la curtosis es de -0.362, indica que los valores analizados se encuentran relativamente dispersos con relación a la curva normal.

Con respecto a los valores de los percentiles se tiene el siguiente análisis:

El 25 % de la muestra presenta hasta un valor de factor de carga de 33,81%.

El 50 % de la muestra presenta hasta un valor de factor de carga de 44,66%.

El 75 % de la muestra presenta hasta un valor de factor de carga de 55,82% (Valor superior al de la mediana). Del mismo modo existe 25% de la muestra con valores superiores a 55,82 % como factor de carga hasta un valor máximo de 81%.

Figura 27

*Análisis estadístico de factor de carga para el periodo de 1 año.*

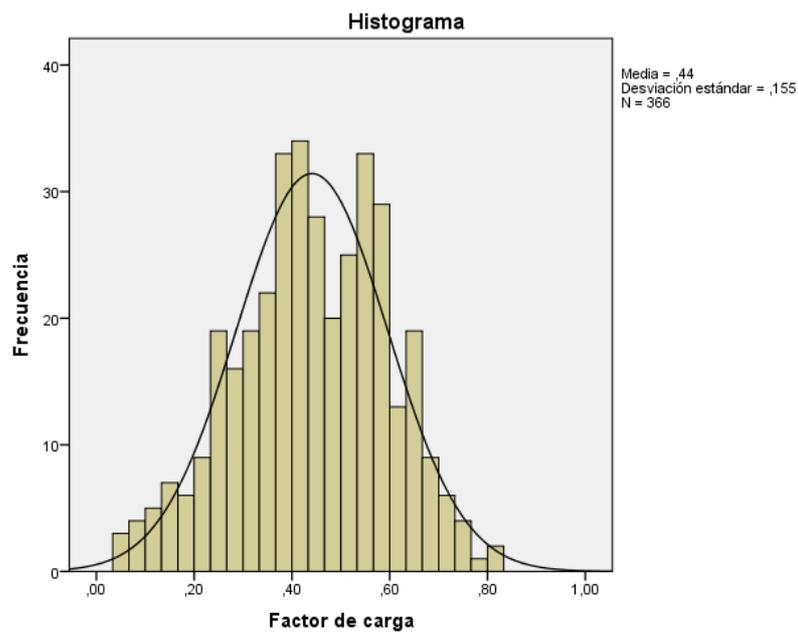
Factor de carga		
N	Válido	366
	Perdidos	0
Media		,4409
Error estándar de la media		,00809
Mediana		,4466
Moda		,04 <sup>a</sup>
Desviación estándar		,15486
Asimetría		-,203
Error estándar de asimetría		,128
Curtosis		-,362
Error estándar de curtosis		,254
Mínimo		,04
Máximo		,81
Percentiles	25	,3381
	50	,4466
	75	,5582

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

*Nota.* Elaboración propia.

Figura 28

*Curva normal estadística del factor de carga para el periodo de 1 año.*



*Nota.* Elaboración propia.

Con la información obtenida del análisis anterior se pueden agrupar los comportamientos de generación de potencia anual en 4 estratos según los percentiles para los valores de factor de carga.

Percentil 25    Factor de Carga= 33,81%    Potencia=28,14 MW

Percentil 50    Factor de Carga= 44,66%    Potencia=37,18 MW

Percentil 75    Factor de Carga= 55,82%    Potencia=46,47 MW

La cual se aplica a la información del mes de abril 2024 que es el mes de mayor generación.

#### **4.2 Caracterización del sistema de almacenamiento BESS.**

Se realizaron los siguientes casos, teniendo en cuenta el mes de abril 2024:

Caso 1: Con valor de máximo valor de carga de abril-2024. Día 15.04.2024, que esta sobre el percentil 75.

Caso 2: Con valor igual a la mediana, que se ubica dentro del percentil 75. Día 18.04.2024.

Caso 3: Con un valor a un factor de carga es igual a 44,66% ubicada dentro del percentil 50.

Caso 4: Con un valor a un factor de carga es igual a 31,87% ubicada dentro del percentil 25.

Caso 5: Con un valor a un factor de carga es igual a 26,4%, siendo el día de menor generación. Día 18.04.2024.

##### **4.2.1 Determinación de las capacidades operando con potencia inyectada constante.**

Caso 1: Con valor de máximo valor de carga de abril-2024. Día 15.04.2024, que esta sobre el percentil 75.

Factor de Carga: 75.3%.

Energía generada: 1 504,49 MWh

Máxima potencia inyectada: 81,58 MW.

$$\text{Potencia inyectada constante} = \frac{1\ 504,49 \text{ MWh}}{24 \text{ h}} = 62,69 \text{ MW}$$

$$\text{Reduccion de potencia inyectada} = 81,58 - 62,29 = 18,89 \text{ MW}$$

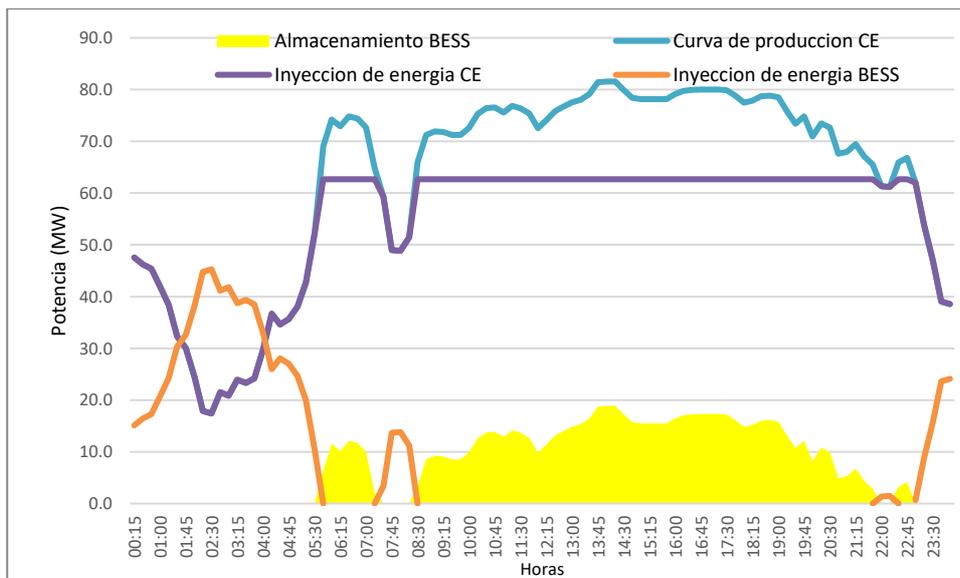
Realizando la integración de la curva de inyección de energía de la Central Eólica se tiene un valor de 1 311,36 MWh.

Del mismo modo se obtiene el valor de la energía almacenada por el sistema BESS entre las 5.30 a 7.00 horas, 8.15 a 21.30 horas y de 22.15 a 22.45 horas con un valor de 192,96 MWh. La misma cantidad de energía es inyectada al sistema eléctrico por el BESS (indicado por la curva de color marrón)

Del mismo modo se determina que el valor máximo de potencia inyectada por el BESS es de 45,27 MW.

Figura 29

*Planeamiento de la operación de la central eólica-día de máxima producción abril 2024.*



*Nota. Elaboración propia.*

Caso 2: Con valor igual a la mediana, que se ubica dentro del percentil 75. Día 10.04.2024

Factor de Carga: 55%.

Energía generada: 1 094,72 MWh.

Máxima potencia inyectada: 81,14 MW.

$$\text{Potencia inyectada constante} = \frac{1\,094,72 \text{ MWh}}{24 \text{ h}} = 45,61 \text{ MW}$$

$$\text{Reduccion de potencia inyectada} = 81,14 - 45,61 = 35,53 \text{ MW}$$

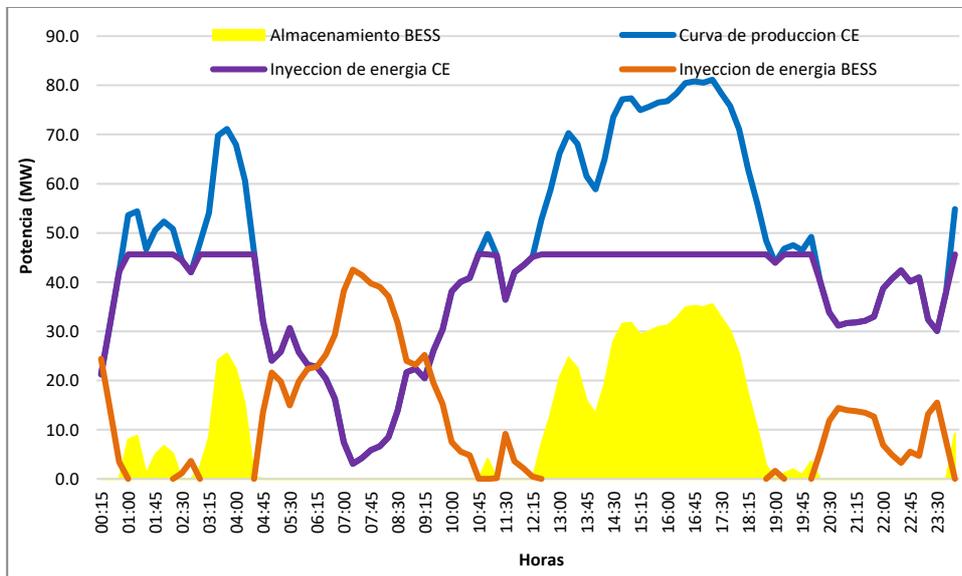
Realizando la integración de la curva de inyección de energía de la Central Eólica se tiene un valor de 895,85 MWh.

Del mismo modo se obtiene el valor de la energía almacenada por el sistema BESS entre las 00.15 a 4.30 horas y 12.15 a 19.45 horas y de 22.15 con un valor de 198,82 MWh. La misma cantidad de energía es inyectada al sistema eléctrico por el BESS (indicado por la curva de color marrón)

Del mismo se determina que el valor máximo de potencia inyectada por el BESS es de 42,53 MW.

Figura 30

*Planeamiento de la operación de la central eólica-día 10.04.2024.*



*Nota. Elaboración propia.*

Caso 3: Con un valor a un factor de carga es igual a 44,66% ubicada dentro del percentil 50. Día 29.04.2024.

Factor de Carga: 44,69%.

Energía generada: 893,06 MWh.

Máxima potencia inyectada: 79,75 MW.

$$\text{Potencia inyectada constante} = \frac{893,06 \text{ MWh}}{24 \text{ h}} = 37,21 \text{ MW}$$

$$\text{Reduccion de potencia inyectada} = 79,75 - 37,21 = 42,54 \text{ MW}$$

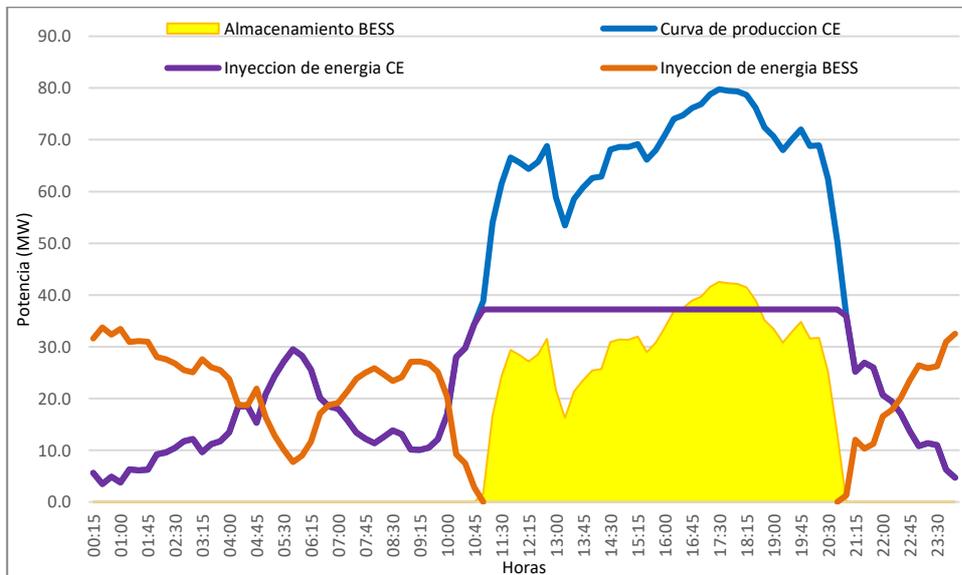
Realizando la integración de la curva de inyección de energía de la Central Eólica se tiene un valor de 590,28 MWh.

Del mismo modo se obtiene el valor de la energía almacenada por el sistema BESS entre las 00.15 a 4.30 horas y 12.15 a 19.45 horas con un valor de 302.78 MWh. La misma cantidad de energía es inyectada al sistema eléctrico por el BESS (indicado por la curva de color marrón)

Del mismo se determina que el valor máximo de potencia inyectada por el BESS es de 33,73 MW.

Figura 31

*Planeamiento de la operación de la central eólica-día 29.04.2024*



*Nota.* Elaboración propia.

Caso 4: Con un valor a un factor de carga es igual a 31,87% ubicada dentro del percentil 25. Día 19.04.2024.

Factor de Carga: 31,87%.

Energía generada: 636.96 MWh.

Máxima potencia inyectada: 70,41 MW.

$$\text{Potencia inyectada constante} = \frac{636,96 \text{ MWh}}{24 \text{ h}} = 26,54 \text{ MW}$$

$$\text{Reduccion de potencia inyectada} = 70,41 - 26,54 = 43,87 \text{ MW}$$

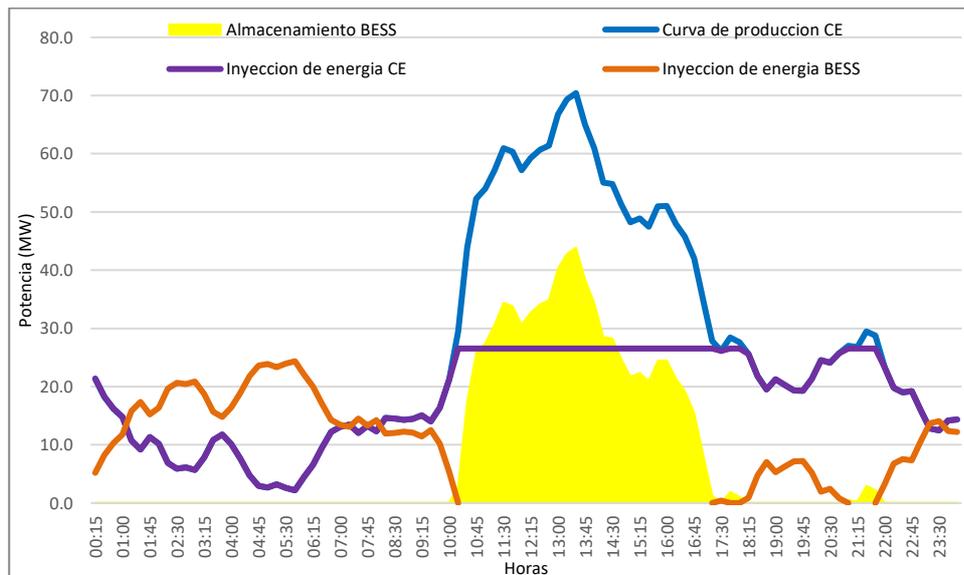
Realizando la integración de la curva de inyección de energía de la Central Eólica se tiene un valor de 443,35 MWh.

Del mismo modo se obtiene el valor de la energía almacenada por el sistema BESS entre las 10.00 a 17.00 horas, 17.45 a 18.00 horas y de 21.15 a 22,00 con un valor de 193,62 MWh. La misma cantidad de energía es inyectada al sistema eléctrico por el BESS (indicado por la curva de color marrón)

Del mismo se determina que el valor máximo de potencia inyectada por el BESS es de 24,36 MW.

Figura 32

*Planeamiento de la operación de la central eólica-día 29.04.2024*



*Nota. Elaboración propia.*

Caso 5: Con un valor a un factor de carga es igual a 26,4%, siendo el día de menor generación. Dia 18.04.2024.

Factor de Carga: 26,4%.

Energía generada: 527,24 MWh.

Máxima potencia inyectada: 52,89 MW.

$$\text{Potencia inyectada constante} = \frac{527,24 \text{ MWh}}{24 \text{ h}} = 21,97 \text{ MW}$$

$$\text{Reduccion de potencia inyectada} = 52,89 - 21,97 = 30,92 \text{ MW}$$

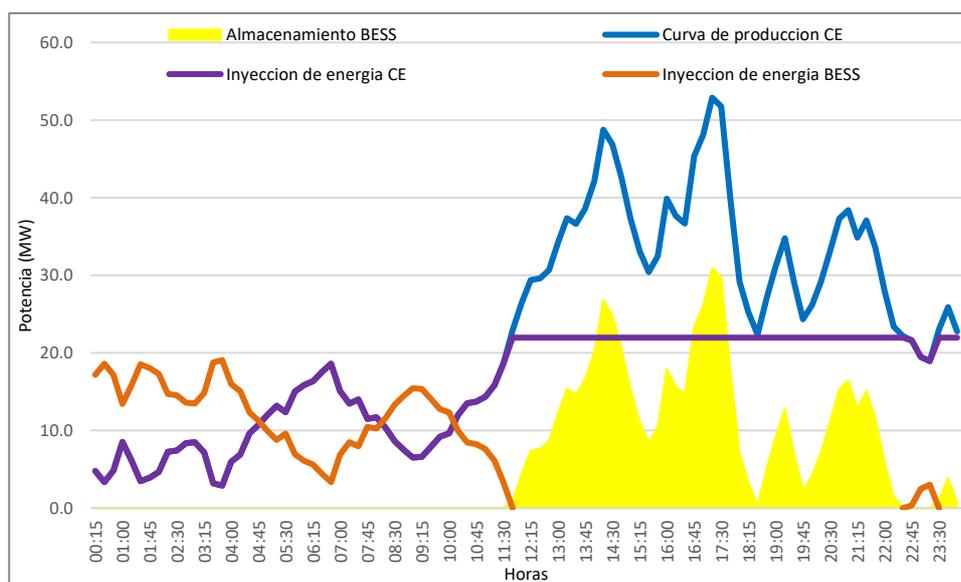
Realizando la integración de la curva de inyección de energía de la Central Eólica se tiene un valor de 387,94 MWh.

Del mismo modo se obtiene el valor de la energía almacenada por el sistema BESS entre las 11.45 a 22.15 horas y 23.30 a 24.00 horas con un valor de 139,30 MWh. La misma cantidad de energía es inyectada al sistema eléctrico por el BESS (indicado por la curva de color marrón)

Del mismo se determina que el valor máximo de potencia inyectada por el BESS es de 19,06 MW.

Figura 33

*Planeamiento de la operación de la central eólica-día 18.04.2024*



*Nota. Elaboración propia.*

Se presenta los resultados de los 05 casos analizados:

Tabla 6

*Resultados de Casos analizados-potencia máxima constante*

<b>Parámetro</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3</b>	<b>Caso 4</b>	<b>Caso 5</b>	<b>Máximo</b>
Producción (MWh)	1504,49	1094,72	893,06	636,96	527,24	1504,49
Potencia generada sin BESS (MW)	81,58	81,14	79,75	70,41	52,89	81,58
Potencia máxima inyectada (MW)	62,69	45,61	37,21	26,54	21,97	62,69
Potencia máxima de almacenamiento (MW)	18,89	35,53	42,54	43,87	30,92	43,87
Energía Central Eólica (MWh)	1311,36	895,85	590,28	443,35	387,94	1311,36
Energía almacenada BESS (MWh)	192,96	198,82	302,78	193,62	139,3	302,78
Potencia máxima inyectada BESS (MW)	45,27	42,53	33,73	24,36	19,06	45,27

*Nota.* Elaboración propia.

De la información analizada se presentan los siguientes valores de diseño:

Potencia máxima inyectada del BESS: 45,27 MW.

Potencia máxima de almacenamiento: 43,87 MW.

Energía almacenada BESS: 302,78 MWh. (Disponible para ser inyectada)

#### 4.2.3 Gestión de la generación tomando en cuenta el valor de la mediana.

Caso 1: Con valor de la mediana del 15.04.2024 de abril-2024. Sobre el percentil 75.

Potencia efectiva en función de la mediana: 71,85 MW

Factor de Carga: 75.3%.

Energía generada: 1 504,49 MWh

Máxima potencia inyectada: 81,58 MW.

Realizando la integración de la curva de inyección de energía de la Central Eólica se tiene un valor de 1 443,21 MWh.

Energía almacenada en los BESS igual a:

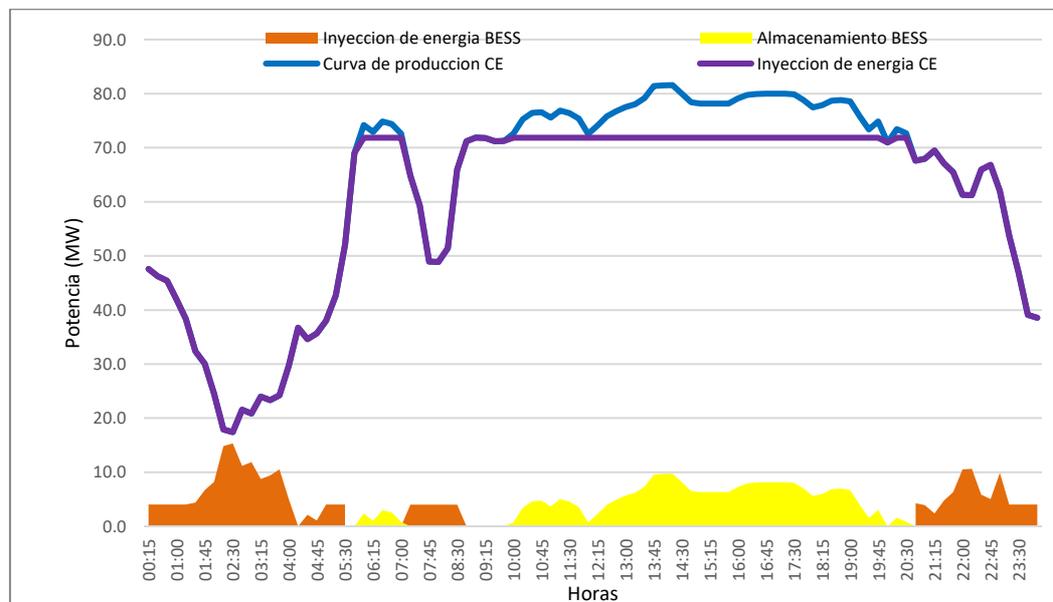
$$Energía almacenada BESS = 1\ 504,49 - 1\ 443,21 = 61,28\ MWh$$

La energía almacenada por el sistema BESS se realiza entre las 5.30 a 7.00 horas y 10.00 a 20.30 horas. Con una potencia máxima de almacenamiento de 9,73 MW.

La misma cantidad de energía es inyectada al sistema eléctrico por el BESS (indicado por la curva de color marrón) entre las horas 00.00 a 5.30 horas, de 7.00 a 10.00 horas y de 20.30 a 24.00 horas.

Figura 34

*Planeamiento de la operación eficiente de la central eólica-día 15.04.2024-Mediana*

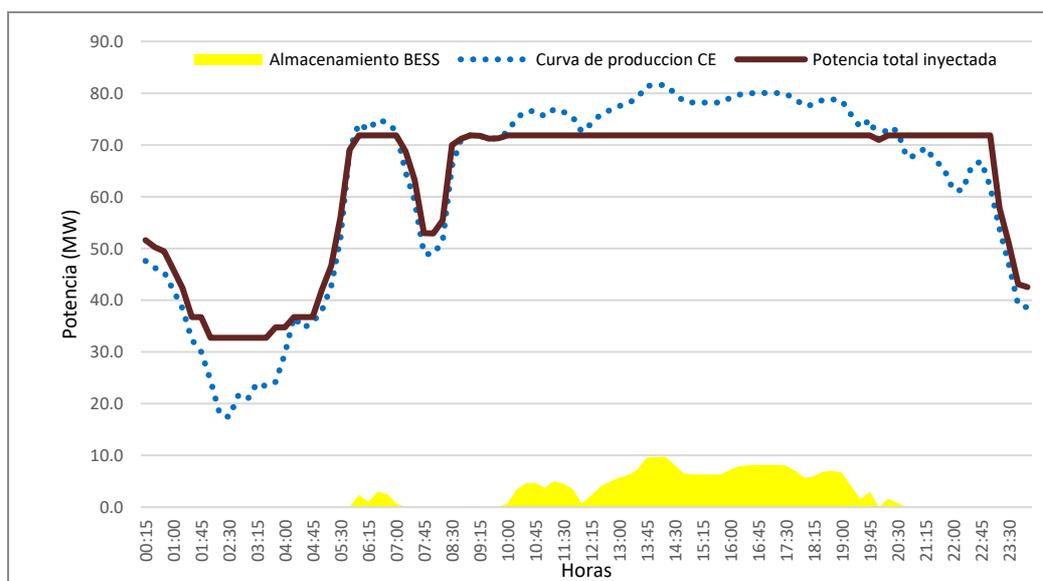


Nota. Elaboración propia.

Del mismo el valor máximo de potencia inyectada por el BESS es de 15,32 MW.

Figura 35

*Potencia total inyectada de la central eólica-día 15.04.2024-Mediana*



Nota. Elaboración propia.

Caso 2: Con el valor de la mediana del día 10.04.2024. Dentro del percentil 75.

Factor de Carga: 55%.

Energía generada: 1 094,72 MWh.

Máxima potencia inyectada: 71,85 MW.

Realizando la integración de la curva de inyección de energía de la Central Eólica se tiene un valor de 1 074,31 MWh.

Energía almacenada en los BESS igual a:

$$\text{Energía almacenada BESS} = 1\,094,72 - 1\,074,31 = 20,41 \text{ MWh}$$

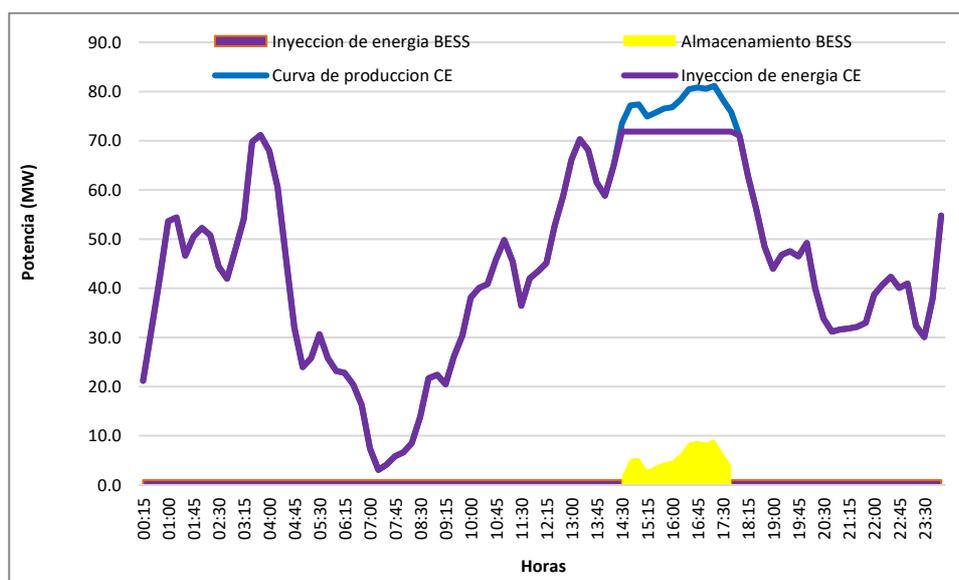
La energía almacenada por el sistema BESS se realiza entre las 14.30 a 17.30 horas. Con una potencia máxima de almacenamiento de 9,29 MW.

La misma cantidad de energía es inyectada al sistema eléctrico por el BESS (indicado por la curva de color marrón) todas las horas del día salvo entre las 14.30 a 17.30 horas.

La actividad de BESS consiste en modular la operación de la central eólica sujeta a variaciones del recurso eólico. Con una potencia máxima de inyección de 1 MW.

Figura 36

*Planeamiento de la operación eficiente de la central eólica-día 10.04.2024-Mediana del mes Abril*

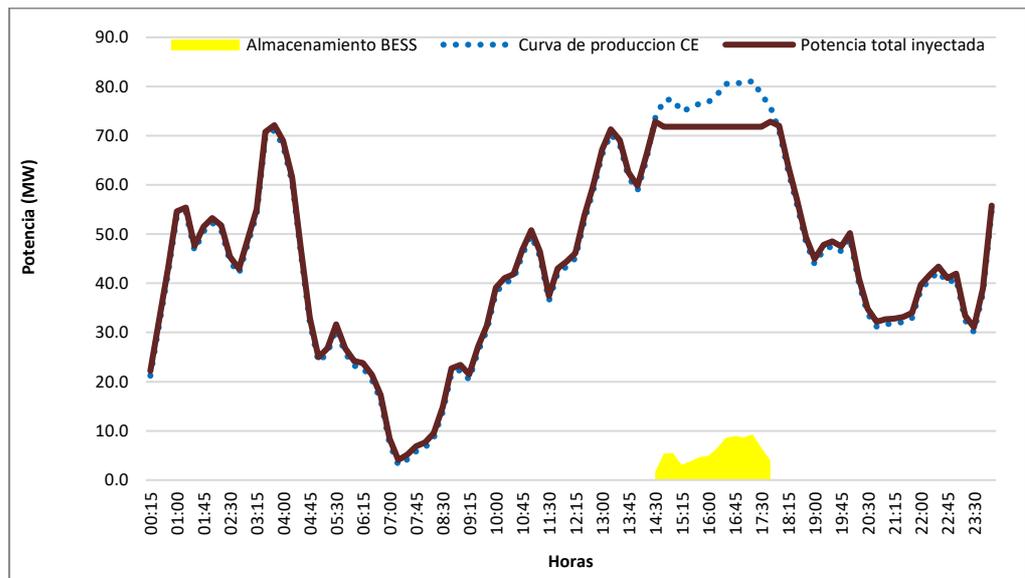


Nota. Elaboración propia.

Del mismo se determina que el valor máximo de potencia inyectada por el BESS es de 1 MW.

Figura 37

Potencia total inyectada de la central eólica-día 10.04.2024-Potencia 71,85 MW



Nota. Elaboración propia.

Caso 3: Con un valor a un factor de carga es igual a 44,66% ubicada dentro del percentil 50. Dia 29.04.2024. Con el valor de la mediana del dia 10.04.2024. Dentro del percentil 50.

Factor de Carga: 44,69%.

Energía generada: 893,06 MWh.

Máxima potencia inyectada: 71,85 MW.

Realizando la integración de la curva de inyección de energía de la Central Eólica se tiene un valor de 880,71 MWh.

Energía almacenada en los BESS igual a:

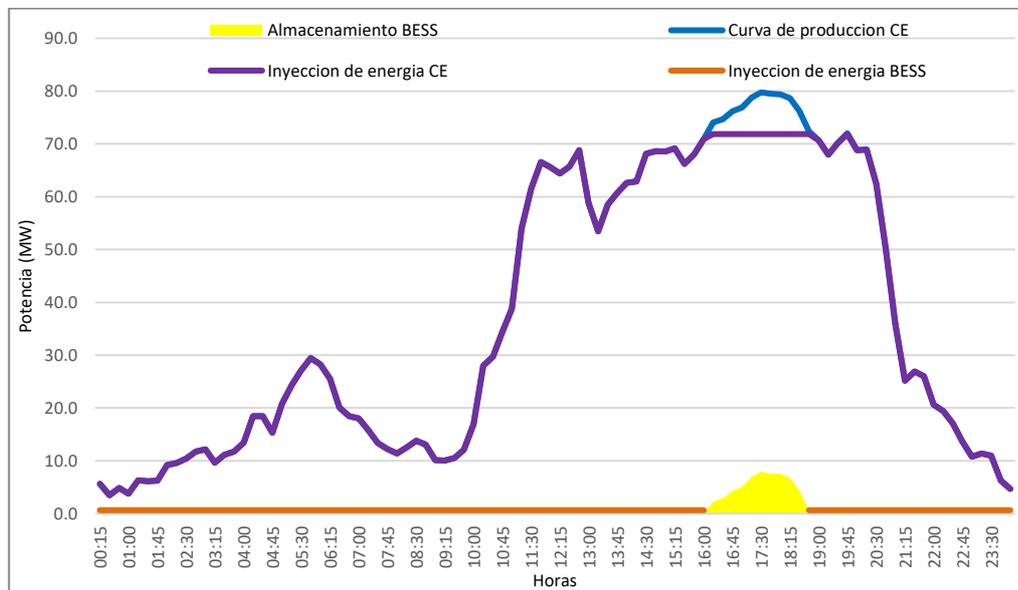
$$Energía\ almacenada\ BESS = 893,06 - 879,01 = 14,05\ MWh$$

La energía almacenada por el sistema BESS se realiza entre las 16.00 a 18.30 horas. Con una potencia máxima de almacenamiento de 7,90 MW.

La misma cantidad de energía es inyectada al sistema eléctrico por el BESS (indicado por la curva de color marrón) todas las horas del día salvo entre las 16.00 a 18.30 horas. La actividad de BESS consiste en modular la operación de la central eólica sujeta a variaciones del recurso eólico. Con una potencia máxima de inyección de 0,65 MW.

Figura 38

*Planeamiento de la operación eficiente de la central eólica-día 29.04.2024-  
Mediana del mes Abril*

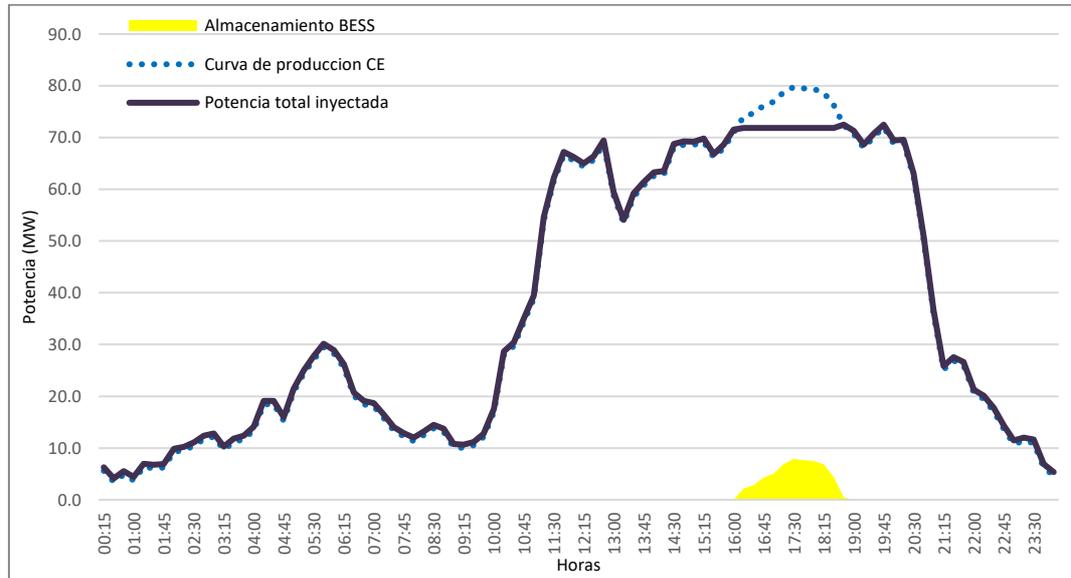


*Nota. Elaboración propia.*

Del mismo se determina que el valor máximo de potencia inyectada por el BESS es de 0,65 MW.

Figura 39

Potencia total inyectada de la central eólica-día 29.04.2024-Potencia 71,85 MW



Nota. Elaboración propia.

Caso 4: Con un valor a un factor de carga es igual a 31,87% ubicada dentro del percentil 25. Día 19.04.2024.

Factor de Carga: 31,87%.

Energía generada: 636.96 MWh.

Máxima potencia inyectada: 47,47 MW. (Valor de la hora 15.30 horas, el cual es el menor valor de generación comprendido en el bloque de máxima carga del día)

Realizando la integración de la curva de inyección de energía de la Central Eólica se tiene un valor de 582,05 MWh.

Energía almacenada en los BESS igual a:

$$\text{Energía almacenada BESS} = 636,96 - 582,05 = 54,91 \text{ MWh}$$

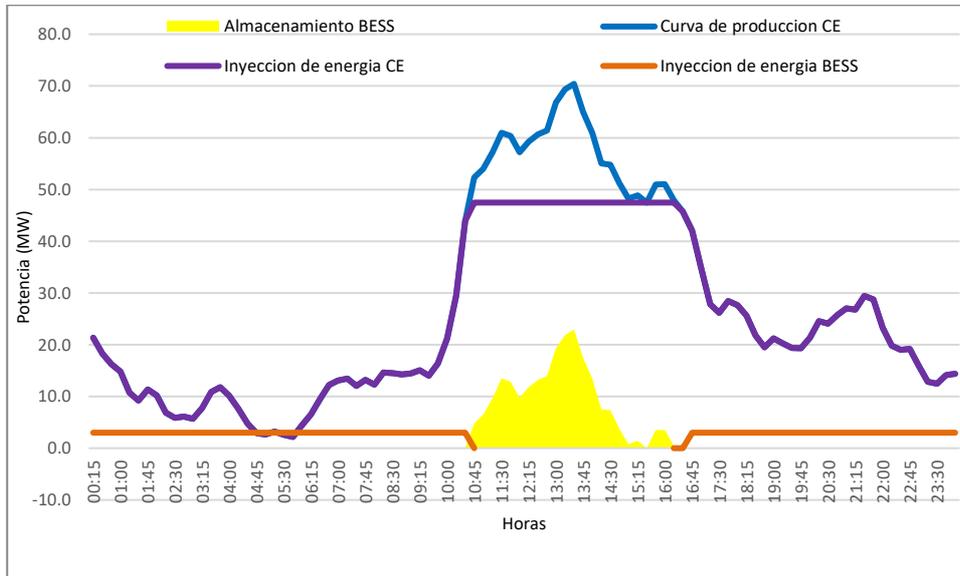
La energía almacenada por el sistema BESS se realiza entre las 10.45 a 16.00 horas. Con una potencia máxima de almacenamiento de 22,94 MW.

La misma cantidad de energía es inyectada al sistema eléctrico por el BESS (indicado por la curva de color marrón) todas las horas del día salvo entre las 10.45 a 16.00 horas.

La actividad de BESS consiste en modular la operación de la central eólica sujeta a variaciones del recurso eólico.

Figura 40

*Planeamiento de la operación eficiente de la central eólica-día 19.04.2024- Mediana del mes Abril*

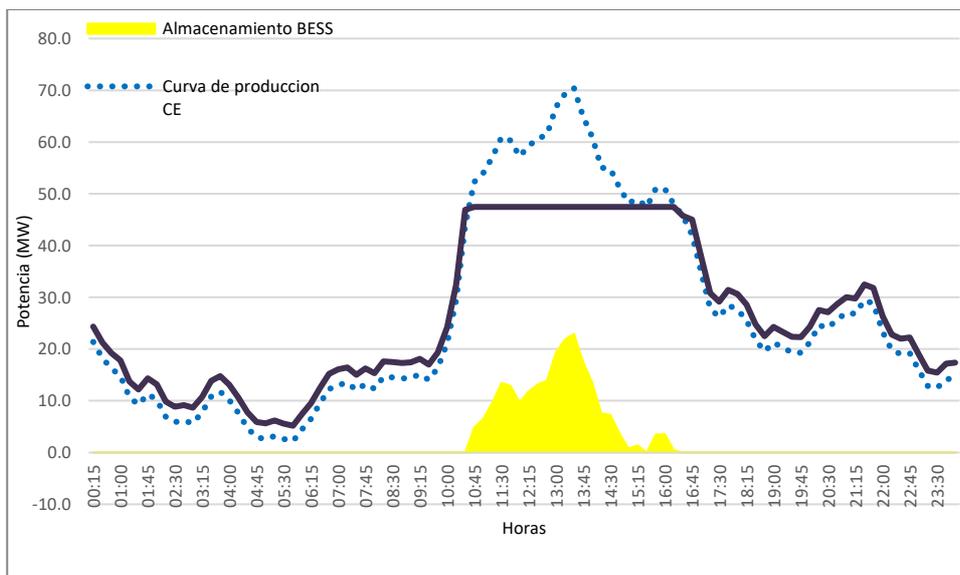


Nota. Elaboración propia.

Del mismo se determina que el valor máximo de potencia inyectada por el BESS es de 3,0 MW.

Figura 41

*Potencia total inyectada de la central eólica-día 19.04.2024-Potencia 71,85 MW*



Nota. Elaboración propia.

Caso 5: Con un valor a un factor de carga es igual a 26,4%, para el día 18.04.2024.

Factor de Carga: 26,4%.

Energía generada: 527,24 MWh.

Máxima potencia inyectada: 52,89 MW solo Central Eólica.

Realizando la integración de la curva de inyección de energía de la Central Eólica se tiene un valor de 488,25 MWh.

Energía almacenada en los BESS igual a:

$$\text{Energía almacenada BESS} = 527,24 - 488,25 = 38,99 \text{ MWh}$$

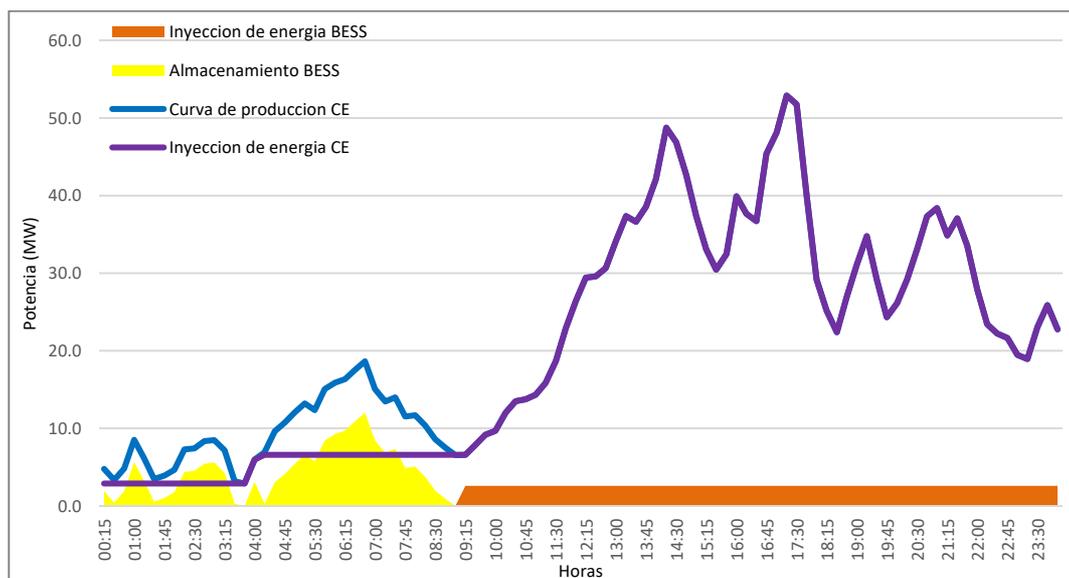
La energía almacenada por el sistema BESS se realiza entre las 00.00 a 3.15 horas y de 4.00 horas a 8.45 horas. Con una potencia máxima de almacenamiento de 12,01 MW.

La misma cantidad de energía es inyectada al sistema eléctrico por el BESS (indicado por la curva de color marrón) todas las horas del día salvo entre las 8.45 a 24.00 horas.

La actividad de BESS consiste en modular la operación de la central eólica sujeta a variaciones del recurso eólico, en los periodos de máxima demanda.

Figura 42

*Planeamiento de la operación eficiente de la central eólica-día 18.04.2024*



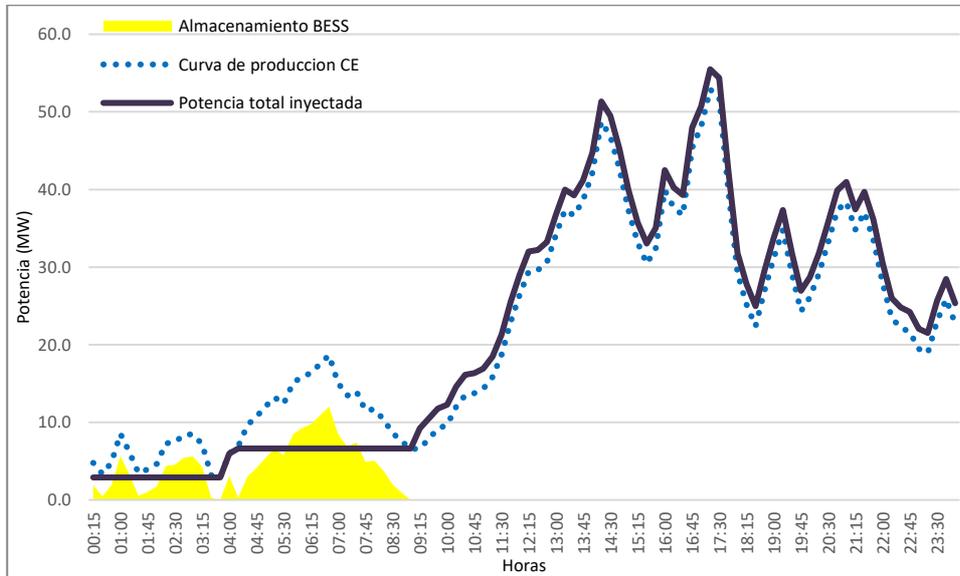
Nota. Elaboración propia.

Del mismo se determina que el valor máximo de potencia inyectada por el BESS es de 2,6 MW.

Máxima potencia inyectada: 55,49 MW

Figura 43

Potencia total inyectada de la central eólica-día 18.04.2024



Nota. Elaboración propia.

Se presenta los resultados de los 05 casos analizados:

Tabla 7

Resultados de Casos analizados según gestión eficiente

Parámetro	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Máximo
Producción (MWh)	1504,49	1094,72	893,06	636,96	527,24	1904,72
Potencia máxima inyectada (MW)	81,58	71,85	71,85	47,47	55,49	81,58
Energía Central Eólica (MWh)	1311,36	895,85	590,28	443,35	387,94	1311,36
Energía almacenada BESS (MWh)	61,28	20,41	14,05	54,91	38,99	61,28
Potencia máxima de almacenamiento BESS	9,73	9,29	7,90	22,94	12,01	22,94
Potencia máxima inyectada BESS (MW)	15,32	1,0	0,65	3,0	2,6	15,32

Nota. Elaboración propia.

De la información analizada se presentan los siguientes valores de diseño:

Potencia máxima de inyección del BESS: 15,32 MW.

Potencia máxima de almacenamiento: 22,94 MW.

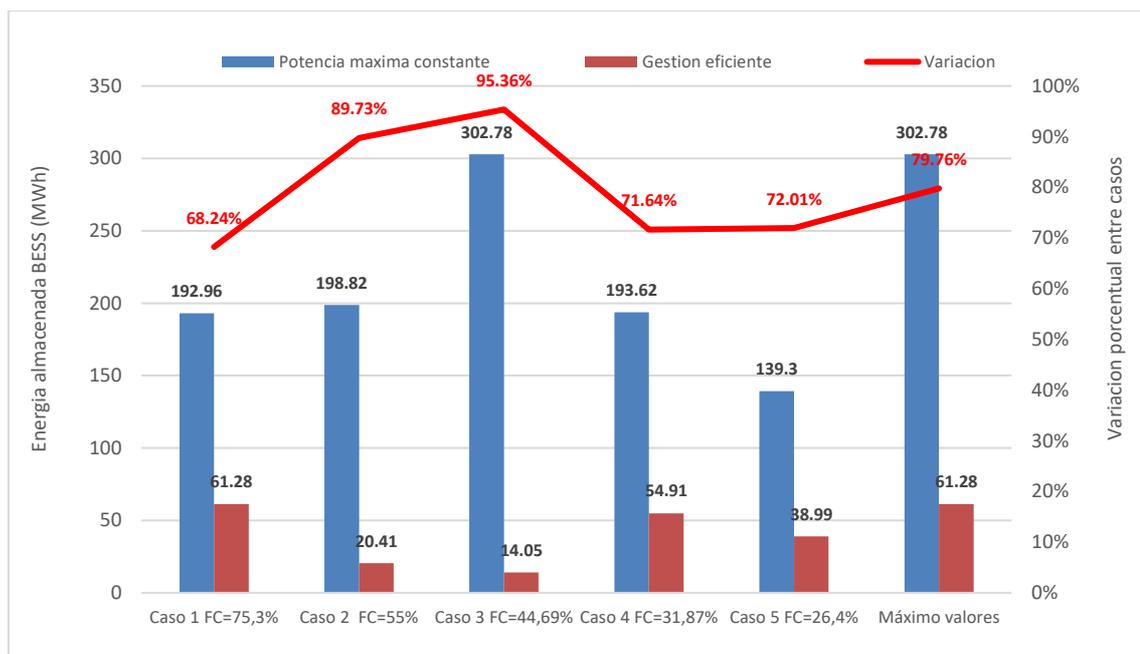
Energía almacenada BESS: 61,28 MWh. (Disponible para ser inyectada)

#### 4.2.4 Análisis de los casos.

Realizando un análisis de la energía almacenada en el BESS según cada uno de los casos analizados, se tiene un menor valor de energía almacenada con una diferencia máxima de 95.36% para el caso 3, y un valor de 79,76% en función a los valores máximos tomados para diseño. Con lo cual empleando la información de gestión eficiente de la Central Eólica con un sistema BESS se tiene una menor energía almacenada, la cual radica en un menor costo de instalación debido a la capacidad de almacenamiento.

Figura 44

*Benchmarking entre casos de almacenamiento de energía en BESS*



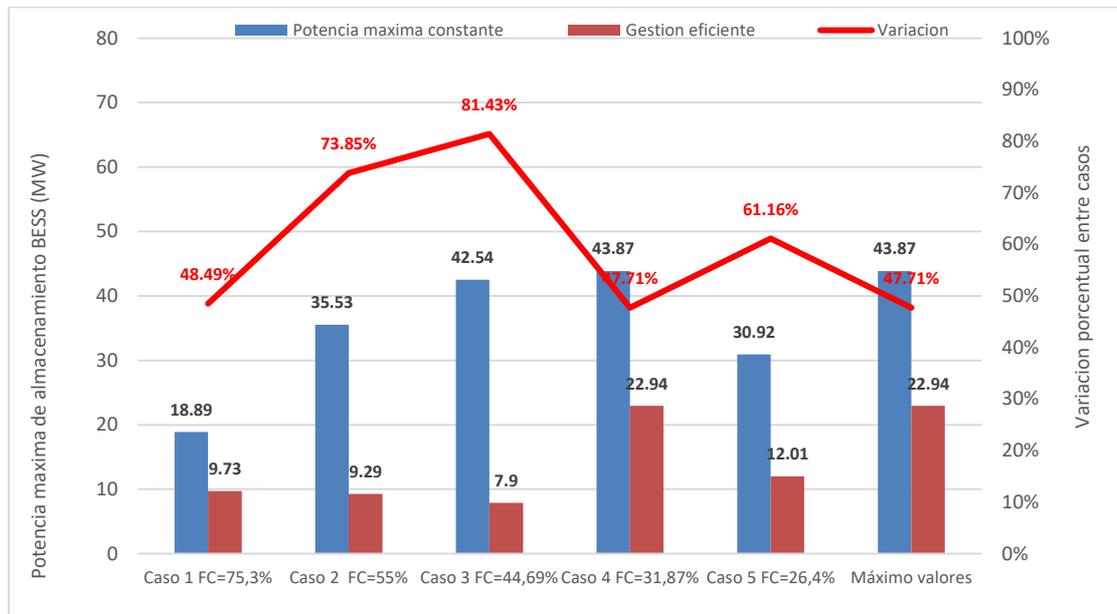
Nota. Elaboración propia.

Realizando un análisis de la potencia máxima de almacenamiento del BESS que es un parámetro de diseño según cada uno de los casos analizados, se tiene un menor valor de potencia máxima de almacenamiento de los sistemas BESS en 81,43% para el caso 3, y un valor de 47,71% en función a los valores máximos tomados para diseño. Con lo cual empleando la información de gestión eficiente de la Central Eólica con un sistema BESS

se tiene una menor potencia para almacenar energía, lo cual radica en un menor costo de instalación debido a la capacidad de almacenamiento.

Figura 45

*Benchmarking entre casos de Potencia máxima de almacenamiento de BESS*

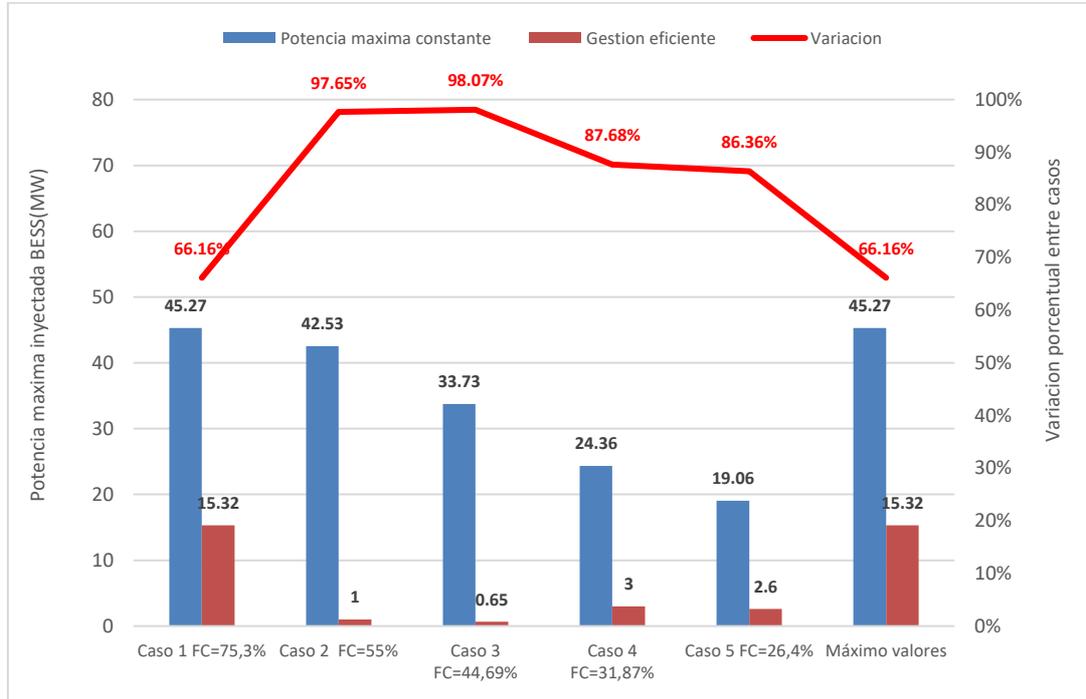


*Nota.* Elaboración propia.

Realizando un análisis de la potencia máxima de inyección del BESS que es un parámetro de diseño según cada uno de los casos analizados, se tiene un menor valor de potencia máxima de almacenamiento de los sistemas BESS en 97,65% para el caso 2, y un valor de 66,16% en función a los valores máximos tomados para diseño. Con lo cual empleando la información de gestión eficiente de la Central Eólica con un sistema BESS se tiene una menor potencia máxima de inyección del sistema BESS, lo cual radica en un menor costo de instalación debido a la capacidad de almacenamiento.

Figura 46

*Benchmarking entre casos de Potencia máxima de inyección de BESS*



Nota. Elaboración propia.

Con lo cual el dimensionamiento del Sistema BESS tomara en cuenta los siguientes valores de la gestión eficiente de la Central Eólica operando con BESS.

Potencia máxima de inyección del BESS: 15,32 MW.

Potencia máxima de almacenamiento: 22,94 MW.

Energía almacenada BESS: 61,28 MWh. (Disponible para ser inyectada)

Siendo los valores de diseño:

Potencia del BESS: 22,94 MW.

Energía almacenada BESS: 61,28 MWh.

4.3 Dimensionamiento del sistema BESS.

Teniendo en cuenta:

Capacidad máxima de carga de batería a1 80% de su capacidad nominal

Capacidad mínima de descarga de batería a1 10% de su capacidad nominal.

La capacidad del BESS se determina según la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad BESS (MWh)} = \frac{\text{Potencia requerida (MW)} * \text{Duracion de descarga(h)}}{\text{Profundidad de descarga} * \text{Eficiencia de la Bateria}} \dots (6)$$

Potencia requerida: 22,94 MW.

Duración de la descarga: 3 horas (valor típico de los sistemas BESS)

Profundidad de descarga: 80%

Eficiencia de la Batería: 90%, (de Ion Litio)

Se requiere un total de 61,28 MWh, lo que representa el 80% de la capacidad del BESS para una descarga máxima en la cual quede 20%.

Con lo cual el 100% de la capacidad del BESS representa un total de:

$$\text{Capacidad BESS (MWh)} = \frac{61,28 \text{ MWh} * 100}{80} = 76,60 \text{ MWh}$$

Aplicando una eficiencia del 90%

$$\text{Capacidad BESS (MWh)} = \frac{76,60 \text{ MWh}}{0,9} = 85,11 \text{ MWh}$$

Por lo tanto, el 100% de la capacidad del BESS será de 85,11 MWh.

Generalmente la relación de potencias y energía almacenada para sistemas BESS comerciales varía entre:

$$\frac{\text{Energía}}{\text{Potencia}} = [0,5 - 3,0]$$

De los catálogos de la Empresa Sungrow Power Supply Co., Ltd.

Se selecciona el modelo ST3727KWH(L)-D1250HV+SG3125HV-MV

Cuya potencia nominal es de 1 250 kW.

Capacidad de 3 727 kWh

Para una relación:

$$\frac{3\ 727}{1\ 250} = 2,98 \in [0,5 - 3,0]$$

Se tiene el siguiente resultado.

$$N^{\circ} \text{ de Unidades} = \frac{85,11}{3,727} = 22,87 \text{ unidades}$$

Se seleccionan 23 unidades BESS de 1,25 MW y 3,727 MWh de capacidad nominal en el año 0 (Beginning of Life - BoL). Con un total de 28,25 MW y 85,72 MWh.

Agrupadas en 4 circuitos de:

Circuito 1: 6 Unidades de 1,25 MW x 3,727 MWh.

Circuito 2: 6 Unidades de 1,25 MW x 3,727 MWh.

Circuito 3: 6 Unidades de 1,25 MW x 3,727 MWh.

Circuito 4: 5 Unidades de 1,25 MW x 3,727 MWh.

Se presentan las características comerciales de cada BESS:

Tabla 8  
*Parámetros de los BESS*

Parámetro	Detalle
Tipo	Ion Litio
Capacidad nominal	3,727 MWh BoL
Eficiencia/Dod	90%/80%
Configuración del sistema	416S10P
Rango de voltaje batería	1 123-1 497 V
BMS communication interfaces	RS485, Ethernet
BMS communication protocols	Modbus RTU, Modbus TCP
Ruido	<70 dB
Grado de IP	IP54
Dimensiones	12,192*2,896*2,438 m
Peso	46 Ton.

*Nota.* Información obtenida de Empresa Sungrow Power Supply Co., Ltd.

Cada BESS deberá constar de 1 Inversor bidireccional con operación completa en cuatro cuadrantes diseñados específicamente para sistemas de almacenamiento de energía a

gran escala. Su diseño modular permitirá una excelente integración del contenedor, por lo que aumenta la confiabilidad del sistema y reduce el espacio ocupado y los costos generales.

Se absorbe energía del sistema eléctrico para cargar las baterías y entrega energía eléctrica cuando esta sea requerida. Bajo esta premisa se implementará e instalará cumpliendo con las exigencias establecidas en el procedimiento técnico del COES Nro. 20 Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones en el SEIN.

Con un valor de 1,25 MW la potencia del inversor.

El inversor del BESS elegido para este proyecto tendrá las características principales:

Inversor de conversión de Energía.

Unidades Reemplazables en Campo.

Diseño modular, compacto y de fácil mantenimiento.

Sistema de Refrigeración Innovador.

Sistema Activo de Calefacción.

Fácil de Monitorear.

Tabla 9

*Características técnicas de Inversores*

Parámetro	Detalle
Lado de corriente alterna	Potencia nominal: 3 125 KVA a 50°C Frecuencia 60 Hz Distorsión total de armónicos < 3% según IEEE Std 519 Compensación de Potencia Reactiva: en los 4 cuadrantes Factor de Potencia: 0,99
Lado de corriente continua	Corriente máxima en CC 4 590 Amp. Rango de trabajo 500- 1500 V Máxima corriente 1 400 amperios
Eficiencia	99%
Dimensiones	2140*2150*816 mm
Peso	1200 kg
Grado de protección	IP65 NEMA 4X

*Nota.* Información obtenida Empresa Sungrow Power Supply Co., Ltd.

Cada BEES deberá tener un transformador elevador desde 1,5 kV/30 kV, con un factor de potencia de 0,9.

$$Potencia\ trafo_{BESS} = \frac{1,25}{0,9} = 1,38 = 1,5\ MVA$$

Se instalarán 23 transformadores de dos devanados para el Sistema de Almacenamiento de Energía con Baterías (BESS), cada una con las siguientes características:

Tabla 10

*Parámetros de los transformadores de BT dos devanados de cada BESS*

Parámetro	Detalle
Ubicación	SE Cupisnique 30 kV
Nivel de Tensión	Primario 30 kV/ Secundario 1,5 kV/Grupo de conexión Dy1
Potencia	1,5 MVA ONAN
Regulación de tensión	Tipo en vacío Variación 2,5%
Impedancia (%)	Vcc ± 8,5% Vcc(0) 8,5%

*Nota.* Elaboración propia.

La energía será evacuada por los conductores XLPE subterráneos canalizados de forma compacta hasta el transformador de potencia (220/30 kV) que se encuentra ubicado en el patio de llaves, y así conectarse a la doble barra de la S.E Cupisnique 220 kV. Se instalará una red colectora de media tensión en 30 kV que interconectará con la S.E. Cupisnique 220 kV. Los conductores de la red de media tensión entre los módulos del banco de baterías estarán dispuestos en zanjas directamente enterrados.

La red de MT en 30 kV se conectará a las posiciones de entrada y salida de las celdas de media tensión situadas en los centros de transformación de los módulos del BESS. Cada uno de los circuitos de MT estará conectado a una de las celdas de protección de línea

de la subestación. Los cables que constituyen la red colectora de 30 kV del sistema de almacenamiento de energía con baterías (BESS) tendrán las siguientes características:

Tabla 11  
*Parámetros de red en MT de 30 kV*

Parámetro	Detalle
Tensión nominal del cable (Uo/U)	19/33 kV
Conductor	Aluminio
Aislamiento	XLPE
Cubierta	LLDPE-UV
Pantalla/Neutro concéntrico	Cobre H16 mm <sup>2</sup>

*Nota.* Elaboración propia.

El Sistema de Control será el PROPHET EMS de NHOA, el cual tiene las siguientes funcionalidades:

Sistema de Manejo de Energía (EMS).

Sistema de predicción (Forecasting).

Sistema de Control en Tiempo Real (PPC).

Sistema de Seguridad y Automatización.

Sistema de Monitoreo Local (LMS).

Además, se tiene prevista una conexión de control remoto (K-WIZE) con una conexión end-to end para el monitoreo remoto. El sistema adquiere, recopila, transfiere y publica datos del BESS a través de canales de comunicación ciberseguros, en un panel de control propietario que está alojado en la web.

#### 4.4 Discusión de resultados.

En la tesis de Arce, J. (2022) se realizó un estudio para aplicación de BESS para la regulación primaria de frecuencia, la cual opero modulando con una Central Hidroeléctrica de 280 MW, para ello almaceno energía en baterías e inyecto a la red en los casos de reducción de frecuencia o retiro energía de la red en casos de sobrefrecuencia en el sistema eléctrico, esto realizándose solo en los casos de perturbaciones en la red, en nuestra tesis se ha realizado un estudio para operar en paralelo una central eólica con un sistema BESS, con la diferencia de que el sistema de

almacenamiento opera en paralelo en forma continua para poder compensar la variabilidad de la operación de la central eólica que depende de la variación continua del recurso eólico. O también para rellenar espacios de déficit de generación de energía.

Gómez, M. (2018) en su tesis de planeamiento de la red de transmisión determino la importancia del empleo de sistemas de almacenamiento de energía BESS lo cual permite un buen desempeño de la red al mantener estable los valores de frecuencia y tensión, lo cual genera tener energía eléctrica a disponible, confiable y de calidad. Lo único que aun sus costos son relativamente elevados. Para nuestro caso se demostró la importancia de los sistemas de almacenamiento para los sistemas de generación, en este caso para una central eólica con un perfil de factor de carga muy variable, para lo cual el BESS permite obtener una generación de energía segura, confiable y de calidad. No se determinaron los costos de inversión, pero en los anexos se realiza el detalle del CAPEX.

En la investigación realizada por Gutiérrez, S. & Palacios, J. (2022) se determinó la importancia de reemplazar una central termoeléctrica por una central RER, para lo cual se requiere de que una central eólica para operar de forma continua tal como lo realiza una central termoeléctrica de ciclo simple o ciclo combinado, requiere de un sistema BESS, el cual permite tener un flujo de potencia estable en el sistema de generación de energía del Perú; esto debido a la variabilidad del recurso eólico. En nuestro estudio se llega a la misma conclusión, de tal forma que el sistema BESS permite a la central eólica una operación estable, en nuestra investigación se determinó que mediante un sistema de gestión eficiente el sistema BESS modula junta a la operación de la central eólica, y que la energía almacenada se realiza en periodos de tiempo en la cual la variabilidad del recurso eólico es más notorio.

En la investigación de Maluenda, M. (2022) se evalúa el empleo de los sistemas BESS con sistemas fotovoltaicos para la generación de Hidrogeno verde, en la cual la generación de energía fotovoltaica se almacena en parte para mantener constante el suministro de energía eléctrica las 24 horas del día para asegurar la operación de un Electrolyzer system for hydrogen production. De forma idéntica en el presente estudio se persigue conseguir una operación continua de la central eólica, para ello el sistema

BESS dimensionado es de 23 unidades BESS de 1,25 MW y 3,727 MWh de capacidad nominal en el año 0 (Beginning of Life - BoL). Con un total de 28,25 MW y 85,72 MWh. Con lo cuál se garantiza una generación de energía confiable y de calidad.

En la investigación de Maza, J. & Pérez, M. (2022) referente al empleo de BESS para el almacenamiento de energía eléctrica de la central fotovoltaica de Moquegua para inyectarla en horas de máxima demanda del SEIN, emplea el valor de la mediana estadística para el dimensionamiento del sistema BESS con lo cual permite una inyección de hasta 80 MWh a 113,77 MWh durante las horas punta, con lo cual desplaza en la operación a centrales termoeléctricas. En nuestra investigación se busca operar el sistema BESS no solo en horas punta, sino en la mayor parte de las horas del día con un total de 28,25 MW y 85,72 MWh disponibles para una gestión eficiente de una central eólica.

En la investigación de Navarro, F. (2019) se plantea la integración de BESS a centrales fotovoltaicas en la Universidad de Chile, plantea como objetivo realizar una evaluación técnico-económica la cual alcanza a una solución viable técnicamente, con lo cual se da la posibilidad de contribuir con energía renovable en las horas punta del sistema, llega también a la conclusión que se requiere de un marco normativo para implementarla eficazmente. En nuestra investigación se demuestra la necesidad de contar con BESS acoplados a centrales eólicas que forman de los recursos energéticos renovables. Aunque se analizó la parte normativa, solo se cuenta en el Perú con la ley de Promoción de Recursos renovable Decreto Legislativo N°1002 (DL-1002), que si bien es cierto promociona la implementación RER, no da lineamientos para su implementación eficaz, ni se les reconoce un pago por potencia firme en horas punta.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 5.1 Conclusiones.

- Se caracterizó el desempeño según el factor de carga de la central Eólica es variable, y no se cuenta con un valor diario constante, para el mes de abril 2024 varía desde 75,3% hasta un valor de 26,4%, siendo el valor su mediana igual a 55,0%. Analizando la muestra de 12 meses, el valor de su factor de carga varía con un valor promedio de 44,04% y con un valor de la mediana de 44,66% y con una curtosis de -0,362 (con lo cual los valores de factor de cargas están muy dispersos a sus extremos) y la asimetría de -0,203 (los valores del factor de carga tienden a la derecha de la curva normal).
- Se analizaron dos alternativas para la implementación del acoplamiento de la operación de un sistema BESS con la central eólica en estudio, la primera de ellas según el valor de una potencia máxima constante, obtenida como el valor promedio en función a la energía total generada, y la segunda alternativa, acoplando al BESS a la operación continua mediante un sistema de gestión eficiente del despacho.
- Con el modelo de gestión eficiente del despacho de la central eólica, del cual se analizaron 05 casos (en función a valores del factor de carga típicos dentro de los valores de los percentiles estadísticos), obteniéndose un mejor desempeño de la central eólica, siendo los valores para el dimensionamiento del sistema BESS: 61,28 MWh de energía almacenada, 22,94 MW la potencia máxima de almacenamiento y 15,32 MW la potencia máxima de inyección del sistema BESS.
- Se dimensiona el sistema BESS en función a valores comerciales, tomándose un modelo con 23 unidades BESS de 1,25 MW y 3,727 MWh de capacidad nominal en el año 0 (Beginning of Life - BoL). Con un total de 28,25 MW y 85,72 MWh. Las baterías con 80% de profundidad de descarga y 90% de eficiencia. Cada unidad cuenta con un inversor bidireccional con 99% de eficiencia y transformador elevador desde 1,5 kV/30 KV. Conectándose en conjunto luego a la SE Cupisnique de 220 kV.

## 5.2 Recomendaciones.

- Es un trabajo pendiente y motivo de otros trabajos de investigación, la realización de un estudio de cortocircuito, estabilidad eléctrica de la red de transmisión eléctrica asociada, estudio de armónicos y flickers y de coordinación de protecciones, lo cual involucra un análisis del flujo de potencia en la red de transmisión cercana a la central eólica.
- Se ha demostrado la contribución del BESS en el despacho de una central eólica, la cual depende su operación de la variabilidad del recurso eólica, estaría pendiente su implementación, la cual es función de la normativa peruana que aun no incluye la participación de los BESS en la operación conjunta con centrales de generación, habiéndose limitado tan solo a la regulación primaria de frecuencia y aun no se comprende su importancia para operar en situaciones de desplazamiento de carga, modulación de centrales renovables de operación intermitente, arbitraje de energía, entre otras aplicaciones.
- Se recomienda realizar investigaciones de implementación de sistemas BESS que permitan una gestión eficiente de la energía consumida en los centros industriales, para ello se podría almacenar energía de la red comprada en horas de máxima demanda, y luego consumirla en las horas punta, con la finalidad de reducir costos de operación.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Arce, J. (2021). Evaluación técnica y económica de los sistemas de almacenamiento de energía con baterías para su aplicación en la regulación primaria de frecuencia en una central hidroeléctrica con embalse del Sistema Eléctrico Peruano. Tesis para título de Ingeniero Mecánico Eléctrico. Universidad Tecnológica del Perú. Disponible en:  
[https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/4591/Jose\\_Arce\\_Tesis\\_Titulo\\_Profesional\\_2021-1-7.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/4591/Jose_Arce_Tesis_Titulo_Profesional_2021-1-7.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Baeza, D. (2010) CONTROL DE LA FRECUENCIA EN UNA RED CON GENERACIÓN EÓLICA. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil Electricista. Universidad de Chile. Disponible en:  
[https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103636/cf-baeza\\_da.pdf?sequence=3](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103636/cf-baeza_da.pdf?sequence=3)
- Berrio, K. (2016). Método de solución para el despacho económico en línea considerando restricciones y reglas de un mercado eléctrico. Tesis de maestría de Sistemas Energéticos. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en:  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57745/1017170033.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cameron, X. (2023). Almacenamiento de energía y turbinas eólicas que exploran soluciones para la variabilidad de la energía eólica- Energy your way. España. Disponible en:  
<https://energy5.com/es/almacenamiento-de-energia-y-turbinas-eolicas-que-exploran-soluciones-para-la-variabilidad-de-la-energia-eolica>
- Diaz, C. (2019). Despacho económico de generación termoeléctrica usando métodos de sensibilidad AC. Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero eléctrico. Universidad Politécnica Salesiana de Quito. Ecuador. Disponible en:  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18120/1/UPS%20-%20ST004381.pdf>

- Díaz, C. (2017). Despacho económico de cargas. Modelado, simulación y análisis. Tesis de Grado de Master en Ingeniero de Minas. Universidad de Oviedo. Disponible en:  
[https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/43733/TFM\\_CarlaDiazGonzalez.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/43733/TFM_CarlaDiazGonzalez.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Duarte, M. (2023) Nuevo récord de producción eléctrica del molino de viento más potente del mundo. Diario El Confidencial de España. Disponible en:  
[https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2023-08-17/molino-viento-potente-record-produccion-electrica\\_3719614/](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2023-08-17/molino-viento-potente-record-produccion-electrica_3719614/)
- COES-SINAC. (2024). Medidores de generación-Base de Datos. COES-SINAC. Perú. Disponible en:  
<https://www.coes.org.pe/Portal/mediciones/medidoresgeneracion>
- COES-SINAC (2023). Características del SEIN-Base de Datos. COES-SINAC. Perú. Disponible en:  
<https://www.coes.org.pe/Portal/mediciones/medidoresgeneracion>
- Delgado, F. & Flores, J. (2022). DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA UN GENERADOR EÓLICO USANDO LINEALIZACIÓN POR REALIMENTACIÓN DE ESTADOS. Tesis para optar el título de Ingeniero Electricista. Universidad Nacional del Callao. Disponible en:  
<https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/7148/DELGADO-FLORES-SALCEDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Eliett, R (2018). Generación eólica y solar: Incertidumbre y variabilidad. Blockchain Researcher LinkedIn. Disponible en:  
<https://www.linkedin.com/pulse/generaci%C3%B3n-e%C3%B3lica-y-solar-incertidumbre-variabilidad-eliett-araujo/?originalSubdomain=es>
- Enlight (2022) BESS: Qué son y cómo funcionan. Blog de Enlight. España. Disponible en:  
<https://www.enlight.mx/blog/bess-que-son-y-como-funcionan#criterios-de-rendimiento-de-un-sistema>
- Estudios Eléctricos GALOC. (2023). Estudio de Operatividad “Sistema de Almacenamiento de Energía con Baterías (BESS) para la Regulación Primaria

de Frecuencia (RPF) en la C.T. Chilca 1”. Empresa ENGIE. Perú. Disponible en:

file:///C:/Users/HP%20250/Downloads/20.%20Resumen%20Ejecutivo%20(2).pdf

García, A. (2019). Determinación de factores de sensibilidad de generadores para la mitigación de congestiones en las redes eléctricas. Grado Universitario en Ingeniería en Tecnologías Industriales. Universidad Carlos iii. España. Disponible en:

[https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/30211/TFG\\_Antonio\\_Garcia\\_Martinez\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/30211/TFG_Antonio_Garcia_Martinez_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Garrido, Y. (2016). Modelo de despacho económico para sistemas medianos. Tesis para el título de Ingeniero Civil Eléctrico. Universidad de Chile. Disponible en:

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/141752/Modelo-de-despacho-economico-para-sistemas-medianos.pdf>

Gómez, M. (2018). Planeamiento de la expansión usando sistemas de almacenamiento de energía BESS. Tesis de maestría en la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, Disponible en:

<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/edf1edff-3f2d-48d0-9622-e3b44994083f/content>

Guevara, R. (2024). Manual I Generación de Energía del Curso de Centrales Termoeléctricas. Universidad Nacional del Santa.

Gutiérrez, A. & Palacios, J. (2022). Reemplazo de una central termoeléctrica por una central RER. en el sistema de generación de energía del Perú. Tesis para Ingeniero en Energía. Universidad Nacional del Santa. Perú. Disponible en:

[https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/128583/browse?type=title&sort\\_by=1&order=ASC&rpp=15&etal=20&null=&offset=1612](https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/128583/browse?type=title&sort_by=1&order=ASC&rpp=15&etal=20&null=&offset=1612)

Iberdrola (2023). Baterías de ion litio. Página web de Iberdrola. España. Disponible en:

<https://www.iberdrola.com/innovacion/baterias-ion-litio>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2020) Catálogo de Tecnologías de almacenamiento de energía. Gobierno de México. Disponible en:

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/590035/11\\_INFORME\\_D2\\_Catalogo\\_de\\_Tecnologias\\_Almacenamiento\\_Energia\\_ESPANOL\\_CGMCC.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/590035/11_INFORME_D2_Catalogo_de_Tecnologias_Almacenamiento_Energia_ESPANOL_CGMCC.pdf)

Mac Clure, B. (2014). Dimensionamiento y localización óptima de sistemas de almacenamiento de energía en redes de distribución. Tesis de Maestría. Universidad de Chile. Disponible en:

[https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/116130/cf-macclure\\_bb.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/116130/cf-macclure_bb.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Maluenda, M. (2020). Optimal operation scheduling of a PV-BESS-Electrolyzer system for hydrogen production and frequency regulation. Tesis de maestría en sistemas de potencia. Pontificia Universidad Católica de Chile. Disponible en:

<https://repositorio.uc.cl/xmlui/handle/11534/65599>

Martinelli, R. & Valdivia, L. (2023). SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE BANCO DE BATERÍAS (BESS) DE LA C.T. KALLPA PARA LA REGULACIÓN PRIMARIA DE FRECUENCIA (RPF) ESTUDIO DE OPERATIVIDAD. Volumen I. Empresa KALLPA GENERACION. Peru. Disponible en:

<file:///C:/Users/HP%20250/Downloads/11.%20Resumen%20Ejecutivo.pdf>

Maza, J. & Pérez, M. (2022). Reemplazo de una central termoeléctrica por una central RER. en el sistema de generación de energía del Perú. Tesis para Ingeniero en Energía. Universidad Nacional del Santa. Perú. Disponible en:

<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3852/52379.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Medina, J. (2014). INTEGRACIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA GENERACIÓN EÓLICA Y SOLAR EN LA COORDINACIÓN HIDROTÉRMICA DE LARGO PLAZO DEL SIC. Tesis para título de Ingeniero Civil Electricista. Universidad de Chile. Disponible en:

[https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/116667/cf-medina\\_ju.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/116667/cf-medina_ju.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mitjà, A. (2002). Energía eólica. Unión Fenosa. España. Disponible en:

<https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/05/recorrido-de-la-energia-energia-eolica.pdf>

- Morales, M. (2009). Energía eólica y el diseño de control de tensión y frecuencia de un convertidor de potencia. Tesis para optar el título de Ingeniero Electricista. Instituto Superior Tecnológico de México. Disponible en:  
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/4429/ENERGIAEOLICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Navarro, F. (2019). Análisis de la factibilidad de la integración de BESS a centrales fotovoltaicas. Tesis para título de Ingeniero civil eléctrico. Universidad de Chile. Disponible en:  
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/173479/An%c3%a1lisis-de-la-factibilidad-de-la-integraci%c3%b3n-de-Bess-a-centrales-fotovoltaicas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Parada, D. (2018). Aplicaciones técnicas y económicas de sistemas BESS en parques eólicos y fotovoltaicos en el sistema eléctrico chileno. Tesis para título de Ingeniero civil eléctrico. Universidad de Chile. Disponible en:  
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/152522/Aplicaciones-t%c3%a9nicas-y-econ%c3%b3micas-de-sistemas-BESS-en-parques-e%c3%b3licos-y-fotovoltaicos-en-el-sistema-el%c3%a9ctrico-chileno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Power Electronic. (2024). INVERSORES DE ALMACENAMIENTO DE BATERÍA FREEMAQ. Power Electronic Nueva Zelanda. Disponible en:  
<https://www.power-electronics.co.nz/products/solar-energy-storage/battery-storage-inverters/>
- Reig, R. (2022). Dimensionado y análisis de planta solar fotovoltaica con almacenamiento en España para venta de energía. Tesis de maestría en energías renovables. Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en:  
[https://oa.upm.es/72157/3/TFM\\_RAFAEL\\_REIG\\_PEREZ.pdf](https://oa.upm.es/72157/3/TFM_RAFAEL_REIG_PEREZ.pdf)
- Rojas, J. (2019). Análisis comparativo de generadores eléctricos usados en aerogeneradores para su aplicación con turbinas eólicas en zonas rurales del Perú. Tesis para el optar el título de Ingeniero en Energía. Universidad Nacional del Santa. Disponible en:  
<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3672/15187.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Salamanca, S. (2020). Caracterización de la variabilidad del recurso eólico. Investigación realizada para la Universidad Lasalle de Colombia. Disponible en:  
[https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1287&context=ing\\_electrica](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1287&context=ing_electrica)
- Santibañez, R. (2021). Modelo de optimización de dimensionamiento de baterías para la aplicación de recorte de punta en clientes libres. Tesis de Ingeniero Civil Eléctrico. Universidad de Chile, Disponible en:  
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/182275/Modelo-de-optimizacion-de-dimensionamiento-de-baterias-para-la-aplicacion-de-recorte-de-punta-en-clientes-libres.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sungrow. (2021). Energy Storage System Products Catalogue. Sungrow Power Supply Co., Ltd. China. Disponible en:  
<https://uk.sungrowpower.com/upload/file/20210909/en%20br%20sungrow%20energy%20storage%20system%20products%20catalogue.pdf>
- Textos científicos (2023) GENERADORES DE CORRIENTE ALTERNA SÍNCRONOS. Textos Científicos. Disponible en:  
<https://www.textoscientificos.com/energia/eolica/generadores-de-corriente-alterna-sincronos>
- Villalba, H. (2020). Energía Eólica. IES Villalba Hervás. España. Disponible en:  
<https://iesvillabahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/10/energ3ada-ec3b3lica.pdf>
- Thornton, F. (2018). Evaluación técnica del incremento posible en la generación eólica en el Sistema Mediano de Punta Arenas, utilizando BESS y emulación de inercia. Tesis para título de Ingeniero Civil Electricista. Universidad Técnica Federico Santa María de Valparaíso. Chile. Disponible en:  
<file:///C:/Users/HP%20250/Downloads/3560900255102UTFSM.pdf>

## **VII. ANEXOS**

Anexo 1. Data Histórica mes de abril-2024

Anexo 2. Data Histórica mes de mayo 2023

Anexo 3. Evaluación estadística diaria del mes de abril 2024.

Anexo 4. Información del mes de abril de resultados de Potencia máxima inyectada.

Anexo 5. Catalogo ST3727KWH(L)-D1250HV+SG3125HV-MV

Anexo 6: Catalogo de Inversores SG3150UD-MV-US

Anexo 7. Información técnica-económica de BESS.

Anexo 8. Información técnica de evolución de baterías de ion litio.

Anexo 9. Arquitectura del sistema de control PEMS HW para sistema de Gestión eficiente de despacho.

Anexo 10 Diagrama del circuito BESS acoplado a Central Eólica.



De 06.15 a 12.00 horas

FECHA	PUNTO MEDICIÓN	EMPRESA	CENTRAL	UNIDAD	TOTAL BIOMASA (MWh)	06:30	06:45	07:00	07:15	07:30	07:45	08:00	08:15	08:30	08:45	09:00	09:15	09:30	09:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1252,443	23,04	18,02	19,79	17,70	20,19	16,40	19,07	14,31	16,68	23,93	31,30	28,74	30,04	41,73	48,35	51,08	53,09	54,08	58,86	62,29	67,37	71,08	76,57
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1311,355	25,58	13,95	24,64	40,59	44,53	35,45	26,46	30,39	39,06	48,58	54,89	58,40	60,28	67,16	73,91	79,34	79,25	79,31	79,20	79,20	79,20	79,20	79,20
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1167,938	15,90	18,53	24,49	23,74	11,61	28,49	28,49	28,35	21,08	20,55	21,08	19,97	11,17	26,20	37,94	46,51	60,01	67,48	68,63	71,18	74,53	76,73	
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1280,031	15,90	11,94	7,00	6,29	4,94	4,87	3,16	4,08	4,38	5,71	9,14	15,99	14,21	36,34	51,17	56,30	59,51	64,73	69,99	68,11	71,95	75,84	71,60
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1281,771	16,30	16,61	26,54	18,94	19,01	15,40	13,59	11,98	10,95	11,41	13,08	15,79	36,07	39,95	48,60	64,57	69,30	71,97	71,63	79,68	79,75	79,75	78,61
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1445,124	30,97	28,65	18,69	17,67	18,88	29,90	43,92	48,76	50,61	48,30	46,44	42,40	36,75	43,96	52,19	56,54	63,66	75,70	80,07	81,32	80,24	80,09	79,99
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1129,491	22,71	14,94	30,45	24,06	23,01	20,74	28,93	29,74	31,09	40,68	45,46	47,86	55,26	65,12	47,95	56,73	62,07	67,94	70,10	71,97	74,78	78,63	
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	622,773	0,98	0,97	2,15	1,11	0,00	0,86	1,16	2,13	0,98	0,00	0,64	1,76	1,59	0,94	0,00	0,00	1,46	5,40	8,30	8,30	8,70	9,94	8,90
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1177,191	0,90	5,82	10,46	17,94	19,63	15,47	12,38	12,50	17,85	21,93	23,12	31,47	38,63	39,53	48,79	56,92	63,67	70,47	76,64	78,09	76,84	76,53	77,88
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1094,721	20,74	16,25	7,97	3,07	4,04	5,69	6,69	8,55	13,63	12,61	21,44	20,46	16,92	30,40	38,04	40,64	40,85	45,79	49,75	46,49	36,45	42,02	48,42
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1149,035	0,90	3,79	6,53	7,89	11,54	9,87	7,07	6,26	9,57	7,92	9,75	16,57	18,58	14,67	28,85	32,77	34,55	46,68	47,49	79,91	79,91	79,91	
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1349,138	19,08	17,74	19,61	21,56	17,90	17,52	17,86	14,41	11,76	14,64	15,35	18,48	18,68	13,96	34,70	57,14	66,74	78,95	81,78	81,54	81,78	81,78	81,78
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1172,966	26,46	27,32	27,46	21,60	16,54	16,61	17,82	24,95	38,42	52,52	73,37	80,24	79,80	78,48	81,17	81,78	81,78	81,78	81,78	81,78	81,78	81,78	81,78
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1299,933	33,98	31,78	40,40	56,73	54,20	53,75	56,79	58,67	65,40	69,53	84,32	63,95	71,69	76,48	76,52	75,84	76,79	53,16	44,52	49,58	58,35	56,88	52,84
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1504,461	74,80	74,76	74,84	67,49	59,77	49,71	48,06	51,40	65,97	71,22	71,20	71,20	71,20	71,20	71,20	71,20	71,20	71,20	71,20	71,20	71,20	71,20	71,20
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1212,825	38,30	42,30	50,49	52,97	49,76	41,17	38,54	34,78	38,30	52,47	62,25	64,67	57,46	49,67	51,97	56,30	63,19	73,47	77,59	77,93	77,93	77,93	77,93
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	905,986	19,99	14,53	12,63	10,90	14,80	17,85	12,09	9,61	9,44	13,62	16,86	16,77	20,70	24,16	30,98	32,84	29,30	29,19	29,77	34,77	37,89	41,20	44,57
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	572,740	17,38	16,26	15,07	13,46	14,05	11,51	11,87	10,70	8,62	7,51	6,35	6,62	7,80	9,87	9,61	12,04	15,15	13,77	14,31	15,66	18,70	22,93	26,42
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	688,995	9,96	12,33	13,09	14,57	12,40	13,33	12,09	14,60	14,32	14,20	14,46	15,06	14,05	16,50	17,14	29,46	49,09	52,29	53,93	57,18	60,91	63,35	57,99
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	783,575	22,91	18,48	12,84	11,24	8,40	6,52	6,44	7,94	9,70	12,31	9,87	11,69	12,70	17,94	17,94	37,05	50,96	47,59	40,95	36,74	36,70	42,69	48,02
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	780,341	45,01	30,91	26,37	27,28	21,40	20,57	20,28	15,67	15,79	15,93	16,44	16,89	18,69	20,40	20,53	19,97	22,40	26,20	28,60	35,42	45,78	42,03	38,59
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	846,624	17,18	19,32	20,45	14,76	9,45	7,80	8,98	10,86	11,45	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92	14,92
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1009,219	16,22	13,20	13,96	7,78	16,40	13,85	9,19	5,96	2,96	4,96	7,96	7,96	9,74	19,78	23,83	23,83	23,83	23,83	23,83	23,83	23,83	23,83	
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	974,879	4,54	3,80	4,57	5,50	4,52	4,24	4,29	3,81	3,44	5,20	7,96	10,30	13,68	12,80	17,60	23,31	31,84	42,44	45,90	50,54	57,35	58,54	59,20
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	917,851	3,90	3,30	4,32	4,92	4,05	4,07	4,05	3,78	3,78	4,72	10,79	15,48	21,47	36,00	34,73	27,47	34,55	40,66	50,95	61,28	68,59	71,63	
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	981,330	16,64	16,07	14,03	10,12	8,05	8,78	7,47	5,96	8,72	10,79	15,48	21,47	36,00	34,73	27,47	34,55	40,66	50,95	61,28	68,59	71,63		
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	830,510	1,37	5,37	4,96	3,48	3,33	5,65	3,85	2,02	0,80	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	707,778	4,26	2,47	2,17	3,54	3,78	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	893,061	20,90	18,47	18,63	15,74	13,39	12,47	11,59	12,53	13,08	10,31	10,07	0,53	11,11	14,92	27,94	29,75	34,89	38,86	53,65	61,38	66,38	66,38	
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	1111,718	13,56	24,94	40,03	37,90	40,99	38,79	40,46	44,72	44,38	45,67	49,49	37,24	30,95	26,94	33,58	33,99	56,40	59,50	56,41	64,16	66,78	74,89	
01/04/2024	507	BREGO AÉLICO CASA	CE COPISNOLÉ	CE COPISNOLÉ	3332,465	144,08	141,89	142,33	141,47	137,463	134,84	134,18	130,26	128,97	128,36	128,97	128,36	128,97	128,36	128,97	128,36	128,97	128,36	128,97	128,36	128,97	128,36	
	TOTAL BIOMASA (MWh)				3332,465	144,08	141,89	142,33	141,47	137,463	134,84	134,18	130,26	128,97	128,36	128,97	128,36	128,97	128,36	128,97	128,36	128,97	128,36	128,97	128,36	128,97	128,36	
	TOTAL POTENCIA (MVA (Mw))				8,616	74,33	74,97	72,84	67,49	59,77	53,75	48,79	44,38	41,37	41,37	41,37	41,37	41,37	41,37	41,37	41,37	41,37	41,37	41,37	41,37	41,37	41,37	
	TOTAL POTENCIA (MVA (MW))				0,000	0,336	0,971	2,115	1,121	0,000	0,336	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	



De 18.15 a 24.00 horas

FECHA	PUNTO MEDICIÓN	CURVENA	CENTRAL	UNIDAD	TOTAL ENERGÍA (KWH)	18.15	18.30	18.45	19.00	19.15	19.30	19.45	20.00	20.15	20.30	20.45	21.00	21.15	21.30	21.45	22.00	22.15	22.30	22.45	23.00	23.15	23.30	23.45	00.00		
01/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	423.443	79.281	72.857	72.397	71.652	70.098	69.056	68.949	64.947	63.944	63.977	73.735	73.708	74.707	73.351	70.193	69.089	69.351	66.851	66.533	64.355	59.866	54.897	51.655	49.164		
02/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	431.155	66.735	59.178	56.151	53.921	52.001	47.791	48.321	47.853	44.005	49.071	46.076	44.746	47.464	47.042	49.215	43.881	43.572	33.361	33.361	31.088	30.600	31.772	32.700	35.498		
03/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	416.758	80.474	78.238	75.360	72.724	69.097	70.447	70.259	70.728	65.235	58.738	54.397	51.280	52.934	52.651	51.801	54.597	56.336	60.738	52.066	52.090	39.921	47.750	48.931	55.980		
04/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	428.021	79.946	76.223	72.700	67.521	67.028	66.791	65.351	62.665	55.465	57.738	62.286	60.979	56.711	47.150	41.251	42.507	52.086	60.886	62.201	65.837	73.427	72.156	71.021	73.498		
05/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	428.171	81.465	81.301	82.389	82.085	80.741	71.098	70.747	71.368	71.988	67.106	64.021	63.136	62.327	57.880	57.693	52.086	52.086	52.086	52.086	52.086	40.203	34.409	35.427	33.163	31.621	
06/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	444.124	81.725	81.465	80.632	79.225	80.254	77.890	74.352	77.650	78.051	79.482	73.165	68.886	64.073	72.740	78.730	79.553	77.950	70.746	40.203	34.409	53.300	54.394	45.845	54.394		
07/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	412.941	64.537	56.993	47.527	40.473	44.690	50.163	44.203	44.221	52.943	54.221	54.491	47.044	39.895	35.200	34.681	33.501	38.220	19.821	13.027	12.586	11.745					
08/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	627.773	51.800	46.000	50.682	56.746	57.054	53.386	52.365	59.177	67.948	58.085	51.016	43.049	31.900	38.095	46.094	50.982	53.662	53.603	46.747	42.107	36.267	32.735	32.745			
09/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	417.729	81.677	80.974	80.271	80.377	81.546	81.233	81.006	78.308	74.477	59.149	54.652	63.888	70.553	67.476	55.396	36.653	37.402	19.927	19.966	15.371	15.364	12.024	14.683	12.021		
10/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	418.721	63.279	56.067	48.489	43.946	46.397	47.542	46.883	49.224	40.027	33.814	31.888	31.660	31.334	32.988	38.680	40.713	42.369	40.947	40.088	40.947	32.483	30.071	37.945	54.817		
11/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	414.025	80.300	80.655	77.421	74.156	70.930	64.881	62.866	59.828	54.541	52.076	58.355	59.606	60.551	64.136	60.159	56.806	61.449	65.491	63.500	52.954	44.057	34.008	29.667	22.929		
12/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	438.128	79.174	74.791	75.555	78.637	80.385	81.068	79.942	79.721	77.421	74.084	71.764	71.800	74.981	78.308	79.615	79.386	78.797	78.220	75.451	75.355	70.717	58.844	48.234	40.386		
13/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	417.156	63.462	53.984	42.022	37.539	35.224	32.978	28.204	26.077	27.867	25.007	25.168	23.696	23.317	29.408	32.501	34.501	39.619	44.161	46.710	46.079	43.464	42.141	44.536	44.521		
14/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	429.933	62.125	57.891	49.961	43.716	45.549	46.314	44.864	48.208	57.941	56.321	50.666	52.341	50.927	50.340	52.340	52.077	52.086	52.077	52.086	52.077	52.086	40.947	32.483	30.071	37.945	54.817
15/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	450.493	77.940	77.940	78.832	78.948	75.801	73.399	72.999	70.945	73.448	74.864	48.208	57.941	56.321	50.340	52.340	52.077	52.086	52.077	52.086	52.077	52.086	40.947	32.483	30.071	37.945	54.817
16/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	422.825	68.147	68.440	67.420	72.536	75.917	71.215	70.113	60.453	60.408	55.496	57.866	49.676	37.991	30.065	20.800	22.380	25.269	23.971	28.956	23.971	21.427	19.727	19.549	31.791		
17/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	405.596	71.261	75.719	75.653	66.149	53.924	47.045	36.787	34.376	39.388	39.831	39.677	29.941	26.594	29.000	26.821	21.555	17.421	11.599	13.900	13.863	10.813	8.259	6.421	5.004		
18/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	527.240	25.192	22.376	26.991	31.003	34.765	29.185	24.300	26.121	29.201	33.099	37.388	38.388	34.653	37.078	33.531	27.899	24.003	22.207	21.623	19.460	18.927	23.653	25.876	22.763		
19/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	686.955	25.089	21.785	19.496	21.351	20.633	19.356	19.300	21.340	14.588	14.092	15.746	17.021	16.791	29.454	38.719	33.284	39.789	19.000	19.218	15.949	12.884	11.467	14.158	14.355		
20/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	788.575	37.322	34.776	34.433	29.878	36.463	31.163	31.044	21.241	14.179	29.073	29.470	30.860	34.236	33.077	31.419	30.838	34.654	19.712	19.233	17.317	20.234	24.021	25.178	24.337		
21/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	780.341	33.497	32.229	44.887	36.566	31.854	40.425	37.029	29.613	30.254	32.821	33.957	34.634	36.883	39.895	37.286	37.333	40.192	42.151	37.179	37.643	37.395	34.398	26.424	23.359		
22/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	846.624	25.829	24.821	27.573	25.825	28.876	34.097	45.993	49.447	53.937	52.529	57.972	50.075	44.448	50.661	59.259	60.715	60.136	62.065	53.996	55.306	55.385	57.829	54.542	43.886		
23/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	1.092.219	56.674	52.889	47.095	42.029	43.956	44.099	39.497	42.623	55.401	63.253	64.550	56.007	48.604	49.933	48.061	39.949	51.000	56.218	37.111	34.011	33.382	25.398	23.513	19.921		
24/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	974.879	32.099	22.655	18.514	21.222	24.055	30.156	36.832	37.130	38.764	43.467	44.512	55.154	59.629	61.729	60.865	60.148	68.201	69.220	61.871	61.314	54.086	41.281	35.342			
25/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	977.651	57.131	56.653	48.782	47.625	51.745	52.825	54.149	46.656	44.941	43.800	52.023	53.447	51.233	51.230	46.800	37.945	37.398	43.253	43.787	40.631	36.145	31.622	27.392	22.978		
26/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	981.330	72.866	75.078	76.617	71.251	57.795	43.376	45.094	54.707	54.385	44.988	36.465	42.130	38.440	42.088	42.109	45.403	45.085	43.800	33.529	25.881	24.281	19.521	15.530	34.189		
27/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	830.510	74.590	69.878	69.838	64.865	63.433	59.267	57.533	56.757	62.100	61.288	56.007	51.593	51.307	46.564	47.254	43.686	41.049	40.075	43.984	41.467	33.551	29.963	22.172			
28/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	707.778	45.344	31.374	31.691	41.115	47.885	44.729	44.006	38.800	37.600	33.173	21.907	16.538	16.333	16.801	11.951	10.113	7.819	3.349	4.791	6.008	8.408	9.471	9.007	7.689		
29/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	883.861	78.665	76.200	72.347	70.630	67.975	70.103	72.094	68.817	68.338	62.421	50.321	35.308	25.171	26.892	25.994	20.648	19.453	17.095	13.681	10.795	11.365	10.966	6.221	4.675		
30/04/2024	SOPREBA EDUCASA	EE COPONQUE	EE COPONQUE	EE COPONQUE	1.117.728	78.940	79.640	77.629	68.757	63.721	68.996	71.259	67.155	64.943	71.989	66.336	58.651	50.706	38.661	60.125	61.702	61.144	62.497	57.333	45.144	33.873	27.849				
TOTAL ENERGÍA (KWH)					31.852.468	662.248	444.924	420.078	417.623	414.433	404.715	402.811	395.801	389.944	385.016	372.829	339.316	317.977	347.929	348.601	333.871	333.935	322.314	302.927	277.778	252.048	211.449	215.971			
TOTAL POTENCIA (KVAH)					8.245	61.725	61.845	61.339	61.025	61.546	61.233	61.006	60.772	60.281	59.742	59.308	59.105	58.286	57.915	58.308	58.415	58.220	58.563	58.220	58.415	58.355	58.427	57.118	57.102	73.648	
TOTAL POTENCIA (KVAH)					6.000	13.497	12.785	12.514	12.623	12.633	12.535	12.424	12.473	12.492	12.407	12.307	12.197	12.093	11.933	11.813	11.813	11.813	11.813								



FECHA	PUNTO MEDICIÓN	EMPRESA	CENTRAL	UNIDAD	TOTAL ENERGÍA ACTIVA (MWh)	06:45	07:00	07:15	07:30	07:45	08:00	08:15	08:30	08:45	09:00	09:15	09:30	09:45	10:00	10:15	10:30	10:45	11:00	11:15	11:30	11:45	12:00		
01/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	1216.107	314.77	331.72	40.562	41.346	38.708	40.762	39.211	35.914	29.377	29.508	17.860	17.500	17.074	20.285	38.704	53.901	62.916	69.700	71.542	64.536	70.721	75.664		
01/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	1186.317	341.15	392.75	34.957	28.530	24.695	20.588	22.736	22.820	27.955	35.000	30.073	38.550	38.560	44.149	38.494	50.752	62.300	70.207	74.821	72.594	74.821	73.574	75.530	
03/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	1045.330	283.48	323.14	31.120	29.702	26.086	25.375	23.156	21.488	22.000	21.702	18.779	17.665	14.417	20.144	21.408	43.324	39.217	37.972	39.959	34.669	33.054	37.860		
04/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	946.544	12.655	14.255	15.278	15.735	12.988	10.843	10.435	11.039	14.510	20.023	23.024	26.400	24.824	21.318	16.522	12.950	13.805	21.004	31.568	41.779	51.011	53.636		
05/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	783.186	14.140	19.196	20.944	20.206	19.888	15.589	14.716	17.531	19.100	17.866	19.777	20.335	29.820	36.337	50.540	62.883	63.383	64.294	69.140	73.221	72.572	76.440	71.899	
06/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	666.061	7.018	8.786	7.997	4.650	3.862	2.194	1.190	0.730	0.213	0.710	1.492	3.223	4.927	5.586	6.130	6.521	7.096	8.751	15.863	21.931	24.954	30.654	40.552	
07/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	1.054.408	12.066	11.804	13.551	21.751	29.952	32.064	30.011	32.536	27.938	28.622	33.823	35.919	31.216	35.336	47.967	58.917	55.739	57.115	60.885	65.527	70.200	71.300	67.888	
08/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	1.173.939	10.879	14.339	16.619	24.013	28.338	34.364	37.177	38.380	39.119	37.347	32.622	34.498	32.377	25.164	24.138	33.696	47.121	55.660	65.541	67.202	63.594	60.962	56.145	
09/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	838.092	5.103	4.123	2.235	4.202	6.272	8.191	9.013	7.717	7.732	9.142	8.626	10.053	15.616	11.610	9.978	10.616	14.742	23.170	30.487	38.997	29.308	30.527	35.780	34.335
10/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	856.600	10.065	12.282	17.949	37.443	13.352	16.670	12.586	12.824	15.938	23.173	34.462	41.786	43.506	38.221	52.717	61.778	68.439	75.637	76.777	74.922	76.422	73.363	70.967	
11/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	776.483	30.985	33.532	35.643	37.170	34.628	30.798	28.889	27.198	30.098	35.022	36.717	32.800	32.344	37.174	45.501	53.929	59.800	66.083	70.416	70.938	70.626	70.820	67.676	
12/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	490.514	4.460	5.494	5.484	4.265	3.745	3.765	3.961	3.264	3.813	6.173	5.540	6.813	7.275	8.381	10.848	12.972	12.849	13.300	15.544	19.706	21.820	25.937	29.301	
13/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	461.625	8.314	6.090	5.900	4.654	4.111	1.998	1.618	3.444	3.884	5.947	7.506	8.951	11.598	13.674	15.036	17.008	18.083	17.900	20.411	22.545	24.444	25.946	27.371	
14/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	833.757	20.282	19.046	19.518	18.378	17.199	18.224	19.142	19.906	23.852	27.158	30.852	32.165	34.802	39.398	43.141	39.228	41.779	46.984	46.011	45.542	44.247	46.376	54.302	
15/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	488.610	6.694	5.608	5.125	4.729	5.400	4.982	7.347	9.533	10.942	12.949	13.591	14.022	14.432	13.307	13.370	11.043	10.748	11.388	16.597	11.982	12.612	14.350	16.495	
16/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	822.878	23.594	23.536	23.538	23.853	18.802	18.236	21.888	26.096	26.840	24.811	23.722	23.956	27.027	40.919	54.687	62.430	60.311	60.301	57.338	54.282	53.867	59.166	60.302	
17/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	1.059.451	30.180	26.846	26.507	28.104	27.398	30.297	32.387	31.752	32.337	28.542	28.340	30.196	28.341	27.651	31.388	47.002	57.550	63.976	69.094	69.394	71.610	74.166	73.300	
18/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	1.138.886	22.208	23.070	23.942	23.860	23.884	26.878	27.646	30.765	40.550	45.631	46.395	46.138	45.422	46.990	42.110	43.322	45.332	51.141	62.304	69.395	70.000	76.677	77.064	
19/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	1.121.536	31.176	19.218	16.554	10.761	6.824	2.760	0.638	0.349	1.114	13.760	8.877	11.767	15.309	20.364	18.006	21.266	28.900	40.094	46.918	51.024	60.306	62.924	63.755	
20/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	871.652	10.448	11.339	9.911	8.800	7.815	5.400	5.130	9.146	13.488	16.683	18.028	21.476	27.778	32.329	45.401	37.234	33.616	35.062	34.265	35.086	41.801	49.135	51.366	
21/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	684.802	27.998	29.989	28.463	25.881	21.526	16.699	13.339	10.954	7.388	6.947	7.662	7.079	8.208	9.975	7.888	10.911	16.357	21.111	20.514	20.388	18.582	22.616	27.144	
22/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	800.900	15.326	12.287	11.223	9.911	8.326	6.366	4.530	4.317	8.149	13.066	16.966	18.964	21.002	23.300	19.000	15.599	14.855	16.330	28.539	41.144	52.326	57.079	57.024	
23/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	788.875	15.746	15.454	14.710	12.878	14.775	18.865	18.907	21.388	20.940	17.912	15.286	13.953	10.759	10.899	12.596	19.316	24.742	28.744	33.571	38.241	43.991	44.616		
24/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	866.570	15.600	11.538	10.292	10.073	15.566	20.384	24.861	25.124	21.557	20.045	22.925	26.426	28.185	24.654	22.023	18.708	18.050	20.958	22.424	23.905	24.402	29.912	36.300	
25/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	1.165.662	21.749	23.704	23.299	28.624	31.985	29.387	29.108	33.049	39.303	35.240	40.268	44.910	37.306	36.178	44.580	51.168	55.712	62.383	70.120	69.612	70.292	70.719	73.994	
26/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	1.044.233	31.066	29.958	33.339	36.540	46.684	50.964	50.521	53.532	56.534	49.222	42.508	38.324	38.267	38.400	33.790	42.464	46.963	58.006	67.201	65.928	64.444	64.049		
27/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	746.176	6.463	6.924	6.564	4.051	5.165	6.531	5.954	4.271	4.762	2.758	2.902	4.642	2.786	3.972	10.152	18.402	15.270	15.000	14.605	13.988	20.016	23.172		
28/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	604.288	23.588	19.723	17.576	16.310	16.556	19.182	16.910	11.756	10.824	10.773	10.856	12.996	13.157	15.022	12.762	9.256	9.436	6.885	8.094	11.892	18.021	20.667		
29/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	690.657	9.968	7.519	7.110	9.007	11.821	12.218	11.578	9.841	10.949	11.722	9.888	10.446	13.404	16.063	18.742	27.456	32.082	33.866	30.772	31.190	30.719	29.545		
30/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	710.629	14.595	15.210	14.658	12.113	9.972	9.460	10.389	10.221	9.973	10.379	10.300	11.302	11.257	12.176	13.998	15.823	14.157	12.616	16.524	16.079	16.880			
31/05/2023	S07 ENERGÍA EDUCASA	ENERGÍA EDUCASA	CE COPINQUE	CE COPINQUE	583.030	18.888	16.479	13.275	12.442	10.760	9.288	7.796	6.651	11.094	15.139	19.988	21.441	20.000	21.689	23.866	26.900	31.249	38.378	40.748	35.315	33.658			
TOTAL ENERGÍA (MWh)					164.071.5	138.420	139.385	137.393	137.316	138.300	136.425	137.816	144.834	152.812	153.796	148.134	144.200	148.599	201.802	249.692	263.690	269.590	278.595	297.695	333.335	379.822	384.830		
TOTAL POTENCIA MAXIMA (MW)					8.128	33.415	32.975	40.392	41.346	46.384	50.464	50.521	53.332	56.534	49.222	45.611	46.335	46.138	45.422	54.677	54.833	62.833	63.700	75.637	76.777	74.922	76.777		
TOTAL POTENCIA MINIMA (MW)					0.213	4.440	4.123	2.235	3.745	1.378	0.638	0.349	0.213	0.710	1.492	2.786	3.972	4.642	2.786	3.972	10.152	18.402	15.270	15.000	14.605	13.988	20.016	23.172	

FECHA	PUNTO MEDICIÓN	EMPRESA	CENTRAL	UNIDAD	TOTAL ENERGÍA ACTIVA (MWh)	12.5	12.50	12.55	13.00	13.15	13.30	13.45	14.00	14.15	14.30	14.45	15.00	15.15	15.30	15.45	16.00	16.15	16.30	16.45	17.00	17.15	17.30	17.45	18.00	
01/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		1.216,007	70,723	70,712	69,146	70,095	71,278	69,534	66,769	69,320	72,684	74,137	65,385	70,666	74,656	70,496	74,566	73,612	73,821	72,554	73,148	74,503	76,451	78,936	80,955	80,438	
02/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		1.186,217	76,426	71,152	75,777	74,427	75,684	76,788	77,071	79,741	80,732	80,601	80,216	80,224	80,216	79,577	78,948	78,700	78,948	78,700	78,396	77,628	80,046	81,121	80,992	79,963	78,663
03/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		1.045,520	52,373	29,222	39,396	45,561	50,289	50,656	52,572	43,428	41,652	51,795	66,233	66,266	65,899	65,899	67,265	70,327	70,862	71,496	76,168	77,921	77,235	76,982	74,743	65,098	64,718
04/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		948,544	51,843	47,464	46,085	51,330	59,206	63,074	59,779	52,749	41,922	44,174	51,927	54,126	54,126	50,748	49,945	50,748	49,945	49,148	43,718	47,625	49,627	53,629	55,678	60,772	60,475
05/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		783,186	71,384	66,917	60,108	59,833	59,821	57,911	59,104	56,702	54,615	54,071	53,597	52,433	49,359	48,498	48,498	48,498	48,498	48,498	48,498	44,864	44,114	41,365	43,936	45,906	39,194
06/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		666,061	49,227	57,611	64,479	67,061	69,716	71,425	70,120	70,065	73,189	72,958	67,216	59,516	51,680	46,398	47,770	42,412	42,412	42,412	37,936	36,490	33,678	30,936	30,605	37,922	
07/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		1,094,208	59,492	59,106	59,894	60,488	70,638	69,934	61,581	56,579	53,888	53,711	54,671	58,668	57,491	58,671	55,274	55,399	58,880	60,538	70,195	71,068	70,480	74,214	73,776	63,975	
08/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		1,173,593	55,386	68,106	68,740	69,683	70,488	72,588	70,945	71,421	76,172	76,171	76,677	75,032	71,014	73,388	72,838	69,840	69,840	69,704	74,021	74,423	73,559	73,516	73,444	74,498	77,746
09/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		818,092	33,111	41,878	52,545	57,294	55,369	57,650	67,022	70,488	63,892	60,855	62,116	63,608	67,082	67,313	69,467	69,833	67,797	63,407	59,615	55,152	53,569	55,541	56,838	45,786	
10/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		886,800	63,652	59,104	30,013	52,211	44,544	43,412	51,632	54,465	51,334	50,488	53,346	55,564	52,373	50,891	51,239	57,845	67,791	55,150	49,900	45,774	50,164	51,970	50,306	46,241	
11/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		776,483	65,297	64,001	65,643	65,228	62,652	57,894	48,124	43,228	40,835	42,574	39,722	33,523	32,160	40,056	41,315	38,794	39,817	34,577	39,656	41,428	39,306	37,483	36,726	34,964	
12/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		690,314	40,065	44,465	49,142	50,038	51,124	48,348	48,193	54,142	49,007	46,434	41,639	37,161	36,361	32,064	25,871	24,327	24,481	22,047	23,689	19,961	16,468	17,059	20,045	22,038	
13/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		461,625	37,715	38,162	43,421	45,382	44,316	42,938	39,705	37,382	37,874	32,771	30,038	29,949	28,133	22,280	21,843	26,596	29,509	27,791	24,450	28,798	27,605	27,272	27,360	28,392	
14/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		833,751	68,710	69,658	74,767	76,206	78,382	79,952	78,972	77,868	73,918	72,551	67,866	60,375	60,302	64,217	59,267	60,659	69,746	66,999	66,954	63,144	61,137	57,250	50,457	46,178	
15/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		488,610	19,002	19,200	22,242	21,286	24,944	23,936	24,600	25,734	23,338	19,959	19,228	15,869	17,220	21,756	22,866	24,710	23,379	23,379	23,379	23,379	23,379	23,379	23,379	23,379	23,379
16/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		822,278	66,364	61,511	57,902	54,907	54,798	56,153	53,479	52,470	51,099	54,053	56,563	64,421	62,624	64,738	66,893	62,798	62,071	55,938	46,532	44,024	38,456	33,984	33,984	33,984	
17/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		1,059,451	71,150	79,069	79,451	79,536	76,633	76,938	78,300	78,938	76,600	75,448	73,131	74,098	74,416	74,098	74,416	74,098	74,416	74,098	74,416	74,098	74,416	74,098	74,416	74,098	74,416
18/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		1,128,866	71,952	69,970	71,355	74,838	78,240	80,004	80,515	81,819	80,932	81,538	81,635	81,311	80,558	79,160	78,866	79,160	79,160	79,160	79,160	79,160	79,160	79,160	79,160	79,160	79,160
19/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		1,121,386	70,675	73,373	74,776	74,834	74,179	74,024	73,946	78,009	79,735	80,028	81,708	79,729	77,544	78,336	75,213	79,139	81,054	81,356	81,716	81,157	81,486	81,738	81,684	80,742	
20/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		877,652	51,427	46,353	53,831	56,398	38,111	62,448	72,911	73,461	73,461	70,345	73,111	70,299	61,522	66,694	74,456	77,853	77,853	77,853	77,853	77,853	77,853	77,853	77,853	77,853	
21/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		634,802	32,376	34,397	42,654	51,725	52,704	50,930	50,322	49,263	47,554	47,554	47,554	47,554	47,554	47,554	47,554	47,554	47,554	47,554	47,554	47,554	47,554	47,554	47,554	47,554	
22/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		820,900	67,002	66,653	69,964	73,338	71,794	67,650	69,499	73,074	74,646	73,096	73,661	74,249	69,883	67,738	64,728	64,728	64,728	64,728	64,728	64,728	64,728	64,728	64,728	64,728	
23/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		789,075	39,828	42,087	44,105	45,424	46,791	54,526	57,200	59,977	49,802	44,967	45,906	46,022	44,241	44,668	49,995	51,226	54,426	54,426	54,426	54,426	54,426	54,426	54,426		
24/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		886,570	46,656	51,244	56,049	60,628	64,422	63,138	71,555	71,628	68,840	68,129	68,248	63,591	63,328	67,722	65,992	67,162	67,162	67,162	67,162	67,162	67,162	67,162	67,162		
25/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		1,165,662	72,948	74,292	75,975	76,657	75,349	74,990	75,476	75,772	76,955	77,951	78,966	76,687	77,088	74,402	73,790	74,829	75,121	71,382	70,908	70,302	72,057	73,312	75,369	75,705	
26/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		1,104,233	66,941	66,511	68,821	72,776	72,238	72,428	74,316	75,972	74,028	69,502	75,594	75,940	76,610	68,678	76,256	68,404	64,395	58,529	56,120	59,169	65,994	67,889			
27/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		716,176	35,127	45,678	47,343	48,124	48,161	46,446	46,446	46,007	51,249	47,244	46,363	48,280	49,766	49,766	49,766	49,766	49,766	49,766	49,766	49,766	49,766	49,766	49,766		
28/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		694,281	29,602	34,383	30,725	27,557	29,388	38,438	43,764	42,924	43,494	53,549	54,256	51,223	49,091	53,516	50,711	51,200	47,460	38,217	33,613	25,761	24,653	24,653			
29/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		690,667	28,663	37,864	40,718	49,994	37,780	34,432	39,938	30,888	42,114	37,821	33,845	33,222	38,906	40,942	39,551	40,844	40,855	41,506	41,721	44,845	46,494	48,205	52,213		
30/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		710,029	17,051	26,284	41,021	43,482	42,480	44,794	44,662	42,148	41,764	42,610	40,806	39,688	40,942	39,551	40,844	40,855	41,506	41,721	44,845	46,494	48,205	52,213			
31/05/2023	507ENERGÍA EÓLICA SA	CE COPISNOQUE	CE COPISNOQUE		583,060	31,656	28,126	28,949	29,393	29,194	27,651	33,552	32,445	31,538	42,071	41,686	43,340	41,162	37,566	36,942	34,945	30,178	24,810	22,477	20,966	15,074	14,823	19,644		
TOTAL ENERGÍA (MWh)					26,400,715	398,897	412,403	432,821	449,794	439,337	453,483	463,671	452,930	460,442	449,919	449,391	442,543	447,241	434,388	442,445	433,944	435,933	439,801	437,997	435,933	439,801	437,997	435,933	393,616	
TOTAL POTENCIA MÁXIMA (MW)					81,728	77,550	79,065	79,651	78,536	80,004	80,855	81,629	81,932	81,539	81,708	81,653	81,311	80,538	79,160	80,137	81,054	81,356	81,716	81,857	81,486	81,738	81,684	8		

FECHA	PUNTO MEDICIÓN	EMPRESA	CENTRAL	UNIDAD	TOTAL ENERGÍA ACTIVA (MWh)	2015	18.30	18.45	19.00	19.15	19.30	19.45	20.00	20.15	20.30	20.45	21.00	21.15	21.30	21.45	22.00	22.15	22.30	22.45	23.00	23.15	23.30	23.45	00.00			
01/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	116.107	75.621	73.843	67.773	63.354	61.643	59.129	57.295	62.121	63.268	63.268	64.894	61.001	61.001	63.238	62.669	47.236	49.161	54.388	53.979	52.898	43.599	42.599	35.495	36.067	35.000		
02/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	118.227	75.863	73.467	67.167	63.053	61.389	58.548	57.116	49.405	43.801	33.036	38.354	45.445	42.304	43.673	43.912	42.905	41.418	37.718	41.066	39.038	36.000	34.501	34.402	29.666	29.666		
03/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	104.530	64.688	59.001	53.205	48.116	51.163	53.886	54.825	54.825	53.178	55.454	60.108	60.001	60.108	60.108	61.674	62.847	63.900	63.900	63.900	58.654	53.586	45.946	47.129	48.800	48.800		
04/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	94.854	64.048	59.585	55.980	50.980	53.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	54.980	
05/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	783.186	39.788	37.831	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	39.356	
06/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	668.061	45.362	55.801	54.560	44.346	41.697	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	37.350	
07/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	1054.308	51.570	58.460	53.248	57.521	58.155	55.123	50.853	48.135	47.884	45.408	45.408	45.408	45.408	45.408	45.408	45.408	45.408	45.408	45.408	45.408	45.408	45.408	45.408	45.408	45.408	45.408	
08/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	1173.938	71.119	68.112	65.238	64.004	59.419	58.503	59.584	63.559	65.112	67.875	73.448	76.196	77.516	73.138	73.138	73.138	73.138	73.138	73.138	73.138	73.138	73.138	73.138	73.138	73.138	73.138	
09/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	838.091	45.462	39.300	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	
10/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	838.091	40.234	39.300	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	34.203	
11/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	776.483	39.670	46.062	46.700	43.300	40.773	38.777	37.986	37.427	37.900	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000	38.000
12/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	430.514	18.239	18.116	18.091	14.713	15.264	13.160	14.647	14.876	14.778	15.000	15.449	13.186	14.070	14.625	13.656	11.824	11.866	11.349	10.862	10.615	10.770	9.157	8.841	9.941	9.941	9.941	
13/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	461.625	24.655	22.296	22.213	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	23.249	
14/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	833.757	36.473	25.933	23.888	19.214	18.664	16.007	13.400	13.883	14.940	16.187	21.160	25.186	19.700	14.552	16.387	19.488	20.533	19.285	20.815	21.491	18.106	16.888	19.756	19.149	19.149	19.149	
15/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	488.610	30.001	25.384	22.277	26.224	30.015	26.626	29.726	28.600	29.219	31.812	31.626	31.118	33.748	31.929	30.157	30.073	30.823	17.425	22.250	24.286	22.372	18.203	15.274	14.901	14.901	14.901	
16/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	822.878	30.930	28.371	28.248	23.551	26.426	20.426	18.497	18.971	19.594	14.338	14.338	15.794	15.901	17.033	17.033	17.033	18.173	18.553	21.007	19.288	16.820	16.452	17.079	20.440	20.440	20.440	
17/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	1059.451	47.111	46.665	49.394	47.527	45.432	39.610	35.389	36.615	29.741	33.717	36.439	29.843	30.338	30.338	30.338	30.338	30.338	30.338	30.338	30.338	30.338	30.338	30.338	30.338	30.338	30.338	30.338
18/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	118.686	64.621	59.974	54.388	38.775	34.516	36.074	34.300	29.210	28.621	29.404	30.079	36.361	34.893	34.420	29.807	32.576	32.104	33.992	33.468	30.860	31.837	37.381	46.110	41.156	41.156	41.156	
19/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	112.586	77.947	70.854	70.296	62.977	58.884	52.749	48.771	39.064	33.369	25.394	24.184	19.321	19.584	19.584	19.584	19.584	19.584	19.584	19.584	19.584	19.584	19.584	19.584	19.584	19.584	19.584	19.584
20/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	877.652	71.948	71.885	65.895	52.213	42.494	39.048	44.483	48.506	51.940	42.001	34.554	32.004	29.880	24.624	24.624	24.624	24.624	24.624	24.624	24.624	24.624	24.624	24.624	24.624	24.624	24.624	24.624
21/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	634.802	40.941	37.386	33.326	29.256	28.697	26.432	25.884	23.708	18.841	18.114	16.143	15.062	16.054	18.961	16.326	15.803	15.803	16.878	15.066	16.805	16.994	13.559	13.285	15.769	15.769	15.769	
22/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	820.900	45.240	46.469	40.168	43.906	46.543	46.800	49.988	39.007	39.775	38.713	34.888	32.704	30.780	30.176	31.566	30.002	33.666	31.149	31.009	30.405	32.692	38.363	46.111	49.759	49.759	49.759	
23/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	788.875	51.002	53.160	48.384	49.048	46.543	46.800	49.988	39.007	39.775	38.713	34.888	32.704	30.780	30.176	31.566	30.002	33.666	31.149	31.009	30.405	32.692	38.363	46.111	49.759	49.759	49.759	
24/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	886.570	55.577	49.652	41.666	33.550	32.873	30.271	34.485	40.400	39.773	34.384	34.055	34.276	32.822	28.938	25.563	23.997	21.723	26.105	24.472	20.760	24.154	28.182	34.991	34.991	34.991	34.991	
25/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	116.662	66.683	68.829	69.184	67.670	57.386	43.392	40.172	38.212	37.719	38.216	35.762	36.602	45.916	43.339	40.609	44.088	51.944	54.165	46.474	41.011	40.428	39.126	38.702	35.820	35.820		
26/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	1104.233	65.885	61.488	60.730	54.521	43.072	44.124	46.988	43.821	40.416	38.403	39.254	23.837	25.379	28.894	30.697	36.708	20.868	20.996	18.860	17.242	13.366	14.833	17.006	16.866	16.866	16.866	
27/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	716.176	47.988	48.628	50.388	50.160	46.830	50.446	53.177	45.139	38.746	34.886	35.974	38.759	36.471	35.166	38.620	40.369	35.000	40.369	35.000	31.979	29.532	24.716	25.944	23.139	23.139	23.139	
28/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	604.288	23.654	27.513	23.856	25.446	30.944	31.286	29.352	27.517	26.393	30.243	29.352	27.517	26.393	27.517	26.393	27.517	26.393	27.517	26.393	27.517	26.393	27.517	26.393	27.517	26.393	27.517	26.393
29/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	680.667	48.894	41.457	42.514	40.907	39.800	37.182	37.929	33.880	31.666	29.469	27.442	23.254	19.880	17.108	12.700	13.935	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500	14.500
30/05/2023	507PNERGAEUCASAA	507PNERGAEUCASAA	EE CUPSINQUE	EE CUPSINQUE	700.629	42.718	44.264	43.904	44.863	47.242	46.613	43.978	39.667	37.151	45.726	51.946	44.761	43.761	49.948	44.483	43.261	42.400	42.170	42.170	42.170	42						

Anexo 3. Evaluación estadística diaria del mes de abril 2024.

**Estadísticos**

		ABRIL01	ABRIL02	ABRIL03	ABRIL04	ABRIL05	ABRIL06	ABRIL07	ABRIL08	ABRIL09	ABRIL10
N	Válido	95	96	96	96	96	96	96	96	96	96
	Perdidos	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Media		52,2156	54,7828	48,4497	53,5277	53,8324	60,1617	47,3211	25,7405	49,1730	45,2612
Mediana		62,2910	49,8110	52,4705	61,7565	64,0820	67,4845	44,2060	10,8570	55,1240	44,1825
Desviación estándar		22,82082	17,37793	26,27327	25,86630	26,39396	21,29370	22,13789	23,92460	29,70261	20,71068
Asimetría		-,325	,047	-,087	-,642	-,416	-,362	,161	,322	-,280	,024
Error estándar de asimetría		,247	,246	,246	,246	,246	,246	,246	,246	,246	,246
Curtosis		-1,527	-1,345	-1,705	-,976	-1,421	-1,426	-1,352	-1,585	-1,511	-,747
Error estándar de curtosis		,490	,488	,488	,488	,488	,488	,488	,488	,488	,488
Rango		68,02	55,84	72,38	78,67	73,60	64,19	68,41	67,95	81,71	78,07
Mínimo		13,67	24,00	9,35	2,69	8,20	17,62	12,59	,00	,11	3,07
Máximo		81,69	79,83	81,73	81,36	81,80	81,81	81,00	67,95	81,82	81,14
Percentiles	25	28,2330	40,1448	20,9460	29,8525	32,0753	42,4293	29,3338	3,4940	19,9368	31,2777
	50	62,2910	49,8110	52,4705	61,7565	64,0820	67,4845	44,2060	10,8570	55,1240	44,1825
	75	72,8570	75,1433	76,0883	77,3213	79,7508	81,2665	70,7577	50,1393	79,8470	61,3190

**Estadísticos**

		ABRIL11	ABRIL12	ABRIL13	ABRIL14	ABRIL15	ABRIL16	ABRIL17	ABRIL18	ABRIL19	ABRIL20
N	Válido	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
	Perdidos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Media		48,2087	57,8235	48,7984	54,1077	62,8057	50,6047	38,0265	21,7834	26,6266	31,5033
Mediana		55,8115	72,9425	40,9765	53,6870	71,8485	52,1870	29,4440	19,1960	20,0230	24,9160
Desviación estándar		27,12815	24,58100	27,03125	14,48662	18,91213	23,65936	22,47013	13,55241	19,37341	20,52686
Asimetría		-,295	-,526	,147	,080	-1,042	-,124	,569	,408	,791	,721
Error estándar de asimetría		,246	,246	,246	,246	,246	,246	,246	,246	,246	,246
Curtosis		-1,473	-1,347	-1,666	-,776	-,254	-1,622	-1,099	-,945	-,682	-,753
Error estándar de curtosis		,488	,488	,488	,488	,488	,488	,488	,488	,488	,488
Rango		80,33	70,01	74,75	56,69	64,17	64,99	72,82	49,99	68,24	65,01
Mínimo		,93	11,76	7,04	25,09	17,41	12,97	6,43	2,90	2,18	6,46
Máximo		81,26	81,77	81,79	81,78	81,58	77,95	79,26	52,89	70,42	71,46
Percentiles	25	21,9933	36,5248	24,9605	43,4303	48,9073	25,3095	20,4362	9,3040	12,2520	14,4015
	50	55,8115	72,9425	40,9765	53,6870	71,8485	52,1870	29,4440	19,1960	20,0230	24,9160
	75	74,6188	79,6952	81,2988	65,1530	77,5103	77,5045	61,7758	33,1005	45,2815	45,5493

**Estadísticos**

		ABRIL21	ABRIL22	ABRIL23	ABRIL24	ABRIL25	ABRIL26	ABRIL27	ABRIL28	ABRIL29	ABRIL30
N	Válido	96	96	96	96	96	96	96	96	96	97
	Perdidos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Media		32,5226	33,7307	42,3004	40,4593	38,3726	40,7720	34,7298	29,6424	37,2415	45,8923
Mediana		33,4570	27,7885	43,0690	36,9810	43,0970	37,2300	38,7700	21,1575	26,4430	58,4510
Desviación estándar		11,29950	16,41838	22,85719	24,15560	21,45799	26,67483	22,71966	23,91625	26,99505	31,16142
Asimetría		-,048	,233	-,077	,239	-,274	,266	-,127	,677	,312	-,458
Error estándar de asimetría		,246	,246	,246	,246	,246	,246	,246	,246	,246	,245
Curtosis		-,928	-1,422	-1,350	-1,383	-1,320	-1,556	-1,123	-,747	-1,648	-1,414
Error estándar de curtosis		,488	,488	,488	,488	,488	,488	,488	,488	,488	,485
Rango		45,87	54,24	74,98	75,29	67,23	75,75	74,91	80,76	76,28	80,00
Mínimo		8,63	7,83	2,94	3,88	1,11	5,92	,00	,00	3,47	,00
Máximo		54,50	62,07	77,92	79,17	68,34	81,66	74,91	80,76	79,75	80,00
Percentiles	25	21,8345	20,5385	20,0890	19,4298	19,9733	15,3873	10,4300	10,8805	12,1298	4,7650
	50	33,4570	27,7885	43,0690	36,9810	43,0970	37,2300	38,7700	21,1575	26,4430	58,4510
	75	41,3565	51,6032	66,2805	63,5128	57,9145	70,7933	51,9668	47,0385	67,6240	76,5890

*Nota.* Elaboración propia con SPSS.

Anexo 4. Información del mes de abril de resultados de Potencia máxima inyectada.

	Produccion de Energia	Potencia maxima generada	Potencia inyectada constante	Diferencia de potencias	Energia Central Eolica	Energia Almacenada BESS	Potencia BESS
	(MWh)	(MW)	(MW)	(MW)	(MWh)	MWh	MW
01/04/2024	1252,41	81,69	52,18	29,51	1004,72	247,64	38,51
02/04/2024	1311,36	79,83	54,64	25,19	1126,35	185,01	30,65
03/04/2024	1167,93	81,73	48,66	33,06	879,02	290,69	39,32
04/04/2024	1289,03	81,36	53,71	27,65	1028,98	267,76	51,02
05/04/2024	1281,77	81,80	53,41	28,39	992,66	289,15	45,21
06/04/2024	1445,12	81,81	60,21	21,60	1208,73	236,35	42,60
07/04/2024	1129,49	81,00	47,06	33,93	895,33	234,14	34,48
08/04/2024	622,77	67,95	25,95	42,00	353,31	269,47	25,95
09/04/2024	1177,22	81,82	49,05	32,77	849,96	327,32	48,94
10/04/2024	1094,72	81,14	45,61	35,53	895,85	198,82	42,53
11/04/2024	1149,03	81,26	47,88	33,38	850,99	298,09	46,95
12/04/2024	1392,13	81,77	58,01	23,77	1123,81	268,38	46,24
13/04/2024	1172,20	81,79	48,84	32,95	873,16	299,02	41,80
14/04/2024	1299,93	81,78	54,16	27,62	1156,36	143,53	29,08
15/04/2024	1504,49	81,58	62,69	18,89	1311,36	169,51	45,27
16/04/2024	1212,82	77,95	50,53	27,42	953,44	259,55	37,57
17/04/2024	905,94	79,26	37,75	41,51	671,32	234,64	32,74
18/04/2024	527,24	52,89	21,97	30,92	387,94	139,34	19,06
19/04/2024	636,96	70,41	26,54	43,87	443,35	193,62	24,36
20/04/2024	758,57	71,46	31,61	39,85	553,36	205,24	25,15
21/04/2024	780,34	54,50	32,51	21,99	666,56	113,73	23,88
22/04/2024	814,62	62,06	33,94	28,12	635,66	178,90	26,11
23/04/2024	1009,22	77,92	42,05	35,86	771,01	239,68	39,12
24/04/2024	974,88	79,17	40,62	38,55	718,53	256,35	36,74
25/04/2024	917,85	68,34	38,24	30,10	687,85	229,95	37,14
26/04/2024	981,33	81,66	40,89	40,77	694,84	286,50	34,97
27/04/2024	830,51	74,91	34,60	40,30	598,26	231,45	34,60
28/04/2024	707,78	80,76	29,49	51,27	458,97	248,80	29,49
29/04/2024	893,06	79,75	37,21	42,54	590,28	302,78	33,73
30/04/2024	1111,72	80,00	46,32	33,68	781,78	329,92	46,32

*Nota.* Elaboración propia.

# ST3727KWH(L)-D1250HV+ SG3125HV-MV

Energy Storage System



## HIGH INTEGRATION

- DC coupled energy storage system integrated with PV inverter
- Advanced integration technology ensures optimal system performance and lower cost

## SAFE AND RELIABLE

- DC electric circuit safety management includes fast breaking and anti-arc protection
- Multi-state monitoring and linkage actions ensure battery system safety

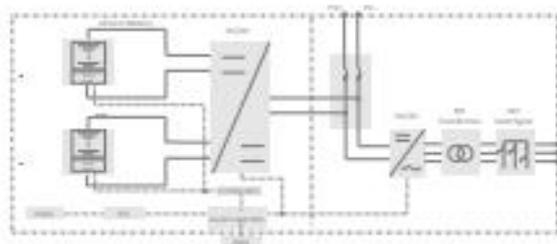
## EFFICIENT AND FLEXIBLE

- Intelligent cell-level temperature control ensures higher efficiency and longer battery cycle life
- Modular design supports parallel connection and easy system expansion

## SMART AND FRIENDLY

- Integrated local controller enables single point of communication interface
- Fast state monitoring and faults record enables pre-alarm and faults location

## CIRCUIT DIAGRAM



KLUDOPN © 2022 Sunways Power Supply Co., Ltd. All rights reserved. Subject to change without notice. (www.kludopn.com)

System Type	ST3727KWH(L)-01250HV+GC325HV-MV
<b>PV Data</b>	
Max. PV input voltage	1500 V
MPPPT voltage range for nominal power	87% - 1300 V
Number of PV inputs	34
Max. PV input current	3997 A
<b>Battery Data</b>	
Cell type	LFP, 280 AH
Configuration of system	4S632P
Battery capacity (BCL)	3,727 kWh
Battery voltage range	1,123 - 1,460 V
BMS communication interfaces	RS485, Ethernet
BMS communication protocols	Modbus RTU, Modbus TCP
<b>DC/DC Data</b>	
Working voltage range	500 - 1500 V
Nominal power	1,250 kW
Max. current	1,400 A
<b>AC Data</b>	
Nominal AC power	1,05 kVA @ 50 °C / 1,437 kVA @ 45 °C
Max THD of current	< 3 % (at nominal power)
DC component	< 0.5 % in
Grid voltage range	30 - 35 kV
Power factor	> 0.99 (at nominal power)
Adjustable power factor	0.8 leading - 0.8 lagging
Nominal grid frequency	50 Hz / 60 Hz
Grid frequency range	45 - 65 Hz / 55 - 65 Hz
Isolation method	Transformer
<b>Transformer</b>	
Transformer rated power	1,05 kVA
LV/MV voltage	0.6 kV / 30 - 35 kV
Transformer vector	Dy11
Transformer cooling type	ONAN (Oil Natural Air Natural)
Oil type	Mineral oil (PCB free) or degradable oil on request
<b>General Data</b>	
Dimensions of PCS unit (W * H * D)	6,098*2,096*2,438 mm
Dimensions of battery unit (W * H * D)	12,160*3,896*2,438 mm
Weight of PCS unit	15.0 T
Weight of battery unit (with / without battery)	46.3 T / 16.3 T
Degree of protection	IP54
Operating temperature range	-30 to 50 °C (> 45 °C derating)
Relative humidity	0 - 95 % (non-condensing)
Max. working altitude	1000 m (standard) / > 1000 m (optional)
Cooling concept of battery chamber	Heating, Ventilation and Air Conditioning
Cooling concept of PCS chamber	Temperature-controlled forced air cooling
Fire suppression system of battery unit	Novec1230 extinguishment system
Communication interfaces	RS485, Ethernet
Communication protocols	Modbus RTU, Modbus TCP, IEC 104
Compliance	CE, IEC 61773-1, IEC 61000-6-3, IEC 61000-6-4, IEC 62209

*Nota.* Informacion obtenida de Sungrow Power Supply Co., Ltd

## Anexo 6: Catalogo de Inversores SG3150UD-MV-US

# SG3150UD-MV-US

Turnkey Station for 1500 Vdc System MV Transformer Integrated



### HIGH YIELD

- Advanced three-level technology, max. inverter efficiency 99%
- Full power operation at 40 °C (104 °F)
- Effective cooling, wide operation temperature

### EASY O&M

- Integrated current, voltage and MV parameters monitoring function for online analysis and trouble shooting
- Modular design, easy for maintenance

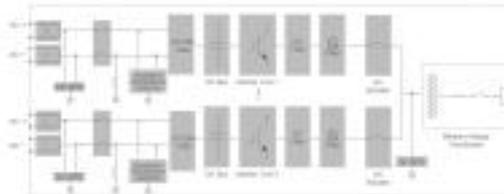
### SAVED INVESTMENT

- Low transportation and installation cost due to 20-foot container size design
- DC 1500V system, low system cost
- Integrated MV transformer and LV auxiliary power supply
- Q at night optional

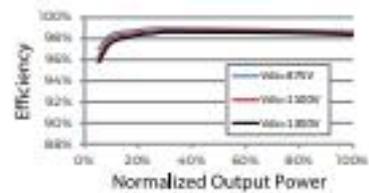
### GRID SUPPORT

- Compliance with standards UL T741, UL T741 SA / SB, IEEE 1547, Rule 20 and NEC code
- Low / High voltage ride through (L / HVRT), L / HFRT, soft start / stop
- Active & reactive power control and power ramp rate control

### CIRCUIT DIAGRAM



### EFFICIENCY CURVE



© 2020 Sunpower Power Supply Co., Ltd. All rights reserved. Subject to change without notice. (01/20/20)

Type Designation	SG350UD-MV-US
<b>Input (DC)</b>	
Max. PV input voltage	1500 V
Min. PV input voltage / Start-up input voltage	875 V / 915 V
Available DC fuse sizes	250 A, 315 A, 400 A, 450 A, 500 A, 630 A
MPP voltage range	875 V - 1500 V
Full power MPP voltage range @ 40 °C	875 V - 1300 V*
No. of independent MPP inputs	3
No. of DC inputs	21 inputs negative grounding ( optional: 18 inputs floating )
Max. PV input current	3 * 1326 A
Max. DC short-circuit current	3 * 3528 A
PV array configuration	Negative grounding or floating
<b>Output (AC)</b>	
AC output power	3150 kVA @ 40 °C [ 104 °F ]
Nominal grid frequency / Grid frequency range	60 Hz / 57 Hz - 63 Hz
Harmonic (THD)	< 3 % ( at nominal power )
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading - 0.8 lagging
<b>Efficiency</b>	
Inverter Max. efficiency	98.9 %
Inverter CCC efficiency	98.5 %
<b>Transformer</b>	
Transformer rated power	3150 kVA
Transformer max. power	3150 kVA
LV / MV voltage	0.6 kV / [ 10 - 35 ] kV
Transformer vector	Dy1 ( Optional: Dy11, Yny0 )
Transformer cooling methods	KNAN ( Optional: ONAN )
<b>Protection</b>	
DC input protection	Load switch + fuse
Inverter output protection	Circuit breaker
AC/MV output protection	Load switch + fuse
Surge Protection	DC Type II / AC Type II
Grid monitoring / Ground fault monitoring	Yes / Yes
Insulation monitoring	Yes
Overheat protection	Yes
<b>General data</b>	
Dimensions (W*H*D)	6058 mm * 2896 mm * 2438 mm 238.5" * 114.0" * 96.0"
Weight	± 31907 lbs
Degree of protection	NEMA 4X ( Electronic for inverter ) / NEMA 3R ( Others )
Auxiliary power supply	5 kVA, 120 Vac; Optional: 35 kVA, 480 Vac + 5 kVA, 120 Vac
Operating ambient temperature range (It refers to the ambient temperature of 1m around the inverter)	-35 °C - 60 °C ( > 40 °C derating ) / optional: -40 °C - 60 °C ( > 40 °C derating ) -31 °F - 140 °F ( > 104 °F derating ) / optional: -40 °F - 140 °F ( > 104 °F derating )
Allowable relative humidity range	0 % - 100 %
Cooling method	Temperature controlled forced air cooling
Max. operating altitude	1000 m ( Standard ) / > 1000 m ( Customized ) ( 3280.8 ft ( Standard ) / > 3280.8 ft ( Customized ) )
Display	LED indicators, WLAN+WebHMI
Night reactive power function	Optional
Dc-coupled storage interface	Optional
Charging power from the grid	Optional
Communication	Standard: RS485, Ethernet
Compliance	UL1741, UL1741-1, CSA C22.2 No.1073-16, IEC61647-2018, IEC61647-2020, UL1741 SA/SR, California Rule21, HECO SPD V2.0, NEC 2020, PRC-024
Grid support	Q at night function (optional), LVRT, LFRVT, Active & reactive power control and power ramp rate control, Volt-var, Frequency-watt

\*Full power MPP range is temperature dependent, check the characteristic curve of the inverter for more information.

*Nota.* Información obtenida de Sungrow Power Supply Co., Ltd

Anexo 7. Información técnica-económica de BESS.

Tabla 2.2: Características económicas de los ESS [14]-[17]-[18]-[30].

	Tecnología	Eficiencia [%]	Vida útil [años]	Costo de inversión [USD\$/kW]	Costo de operación [USD \$/kWh]	Madurez
BESS	Ión-litio	90 - 100	5 - 20	1200 - 4000	600 - 2500	Madura
	Plomo-ácido	85 - 90	5 - 15	300 - 600	200 - 400	Madura
	NaS	75 - 90	10 - 15	1000 - 3000	300 - 500	Comercializada
	Flujo VRB	65 - 85	10 - 20	600 - 1500	150 - 1000	Demostraciones
ESS	PHES	60 - 90	40 - 60	600 - 2000	5 - 100	Madura
	FESS	90 - 95	15 - 20	250 - 350	1000 - 5000	Demostraciones
	CAES	40 - 80	20 - 60	400 - 800	2 - 50	Demostraciones
	SC	+ 97	20 - 30	100 - 300	300 - 2000	Despliegue
	SMES	85 - 99	+ 20	200 - 300	1000 - 10000	Demostraciones
	Sales fundidas	30 - 60	10 - 40	200 - 300	3 - 60	Comercializada
	Hidrógeno FC	20 - 70	5 - 20	+ 10000	6000- 20000	Demostraciones

Tabla 2.3: Características técnicas de los ESS [14]-[17]-[18]-[30].

	Tecnología	Capacidad [MW]	Densidad de energía [kWh/m <sup>3</sup> ]	Tiempo de suministro	Tiempo de respuesta	Cantidad de ciclos
BESS	Ión-litio	0,1 - 100	200 - 600	min - días	~ ms	1000 - 10000
	Plomo-ácido	0,001 - 50	50 - 80	s -hrs	~ ms	500 - 1200
	NaS	0,05 - 50	150 - 240	s -hrs	~ ms	2000 - 5000
	Flujo VRB	0,005 - 1,5	15 - 33	hrs- meses	~ ms	12000 - 14000
ESS	PHES	100 - 5000	0,5 - 1,5	hrs- meses	~ min	10000 - 30000
	FESS	0,002 - 20	20 - 80	s -min	~ s	1000000
	CAES	5 - 300	3 - 6	hrs- meses	~ min	8000 - 12000
	SC	0,001 - 10	+ 100000	s -hrs	~ ms	+ 1000000
	SMES	0,01 - 10	0,2 - 2,5	min -hrs	~ ms	100000
	Sales fundidas	0,1 - 300	50 - 500	min - días	min	-
	Hidrógeno FC	0 - 50	500 - 3000	hrs - días	~ s	1000 - 10000

Nota. Información obtenida de Tesis de Santibañez, R. (2021)

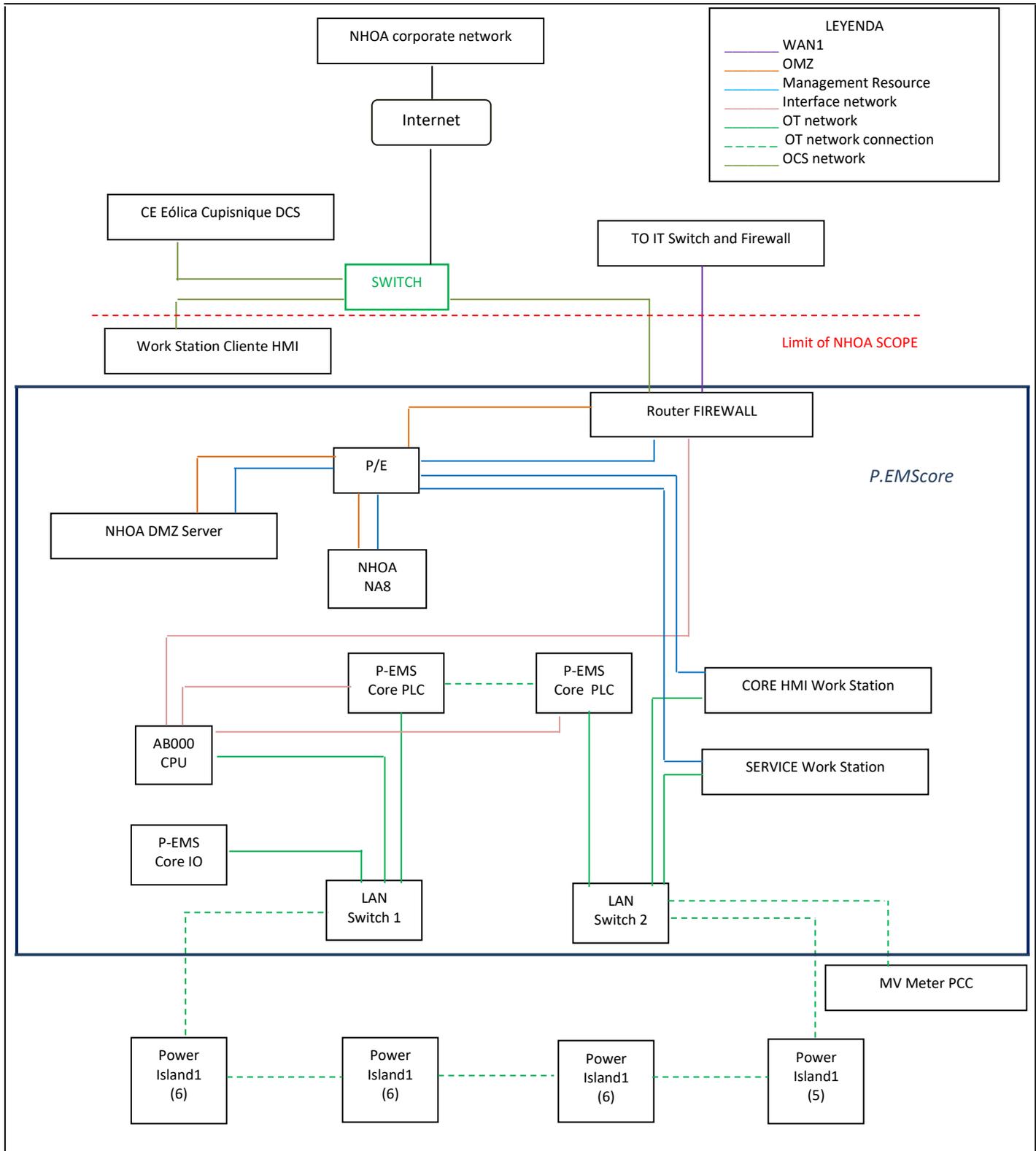
Anexo 8. Información técnica de evolución de baterías de ion litio.

Technology	Lithium-ion NMC battery (Utility-scale, Samsung SDI E3-R135)								
	2020	2030	2050	Uncertainty (2020)		Uncertainty (2030)		Note	Ref
Energy/technical data				Lower	Upper	Lower	Upper		
Form of energy stored	Electrochemical								
Application	System, energy-intensive (2 h)								
Energy storage capacity for one unit (MWh)	6	7	8	5	9	6	11	A	[1, 6]
Output capacity for one unit (MW)	3	3.5	4	2.7	3.5	3.1	4.1	A	[1, 6]
Input capacity for one unit (MW)	3	3.5	4	2.7	3.5	3.1	4.1	A	[1, 6]
Round trip efficiency (%) AC	92	93	93	91	93	92	94	B	[2, 8, 9, 17]
Round trip efficiency (%) DC	96	97	97	96	97	97	98	B	[2, 8, 9, 17]
- Charge efficiency (%)	98	99	99	98	99	98	99	C	[1]
- Discharge efficiency (%)	98	99	99	98	99	98	99	C	[1]
Energy losses during storage (%/day)	0.1	0.1	0.1	0.05	0.20	0.05	0.18	D	[7, 16, 18]
Forced outage (%)	0.38	0.35	0.32	0.20	0.50	0.17	0.45	E	
Planned outage (weeks per year)	0.2	0.10	0.05	0.10	0.25	0.05	0.15	E	
Technical lifetime (years)	20	25	31	15	25	18	33	F	[2, 4, 5, 6]
Construction time (years)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.17	0.25		[11]
Lifetime in total number of cycles	14000	30000	50000	10000	16000	18200	36800	P	[2-4, 6]
Regulation ability									
Response time from idle to full-rated discharge (sec)	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	G	[19]
Response time from full-rated charge to full-rated discharge (sec)	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	G	[19]
Financial data									
Specific investment (M\$2020 per MWh)	0.41	0.26	0.17	0.32	0.55	0.20	0.51	H	[14, 15]
- energy component (MUSD/MWh)	0.15	0.09	0.05	0.08	0.21	0.05	0.18		[4]
- capacity component (MUSD/MW) PCS	0.30	0.18	0.11	0.27	0.57	0.15	0.48		[23]
- other project costs (MUSD/MWh)	0.11	0.09	0.07	0.10	0.12	0.07	0.15	J	[9, 12, 20]
Fixed O&M (kUSD2020/MW/year)	0.54	0.54	0.54	0.45	0.54	0.43	0.54	K	[23]
Variable O&M (USD2020/MWh)	2.22	2.00	1.80	0.44	6.22	0.39	4.77	L	[21]
Technology specific data									
Energy storage expansion cost (M\$2020/MWh)	0.26	0.17	0.12	0.18	0.33	0.12	0.32	M	[14, 15]
Output capacity expansion cost (M\$2020/MW)	0.30	0.18	0.11	0.27	0.57	0.15	0.48	N	[20-22]
Alternative investment cost (M\$2020/MW)	0.37	0.22	0.13	0.31	0.64	0.17	0.55	O	[13, 14, 15, 20-22]
Specific power (W/kg)	58	67	77	57	60	61	72	Q	[1, 10]
Power density (kW/m3)	69	80	92	68	82	72	96	Q	[1, 10]
Specific energy (Wh/kg)	115	135	154	107	154	115	184	Q	[1, 10]
Energy density (kWh/m3)	138	161	184	128	212	135	247	Q	[1, 10]

Notes:

Nota. Información obtenida de Catálogo de Tecnologías de almacenamiento de energía (2020)

Anexo 9. Arquitectura del sistema de control PEMS HW para sistema de Gestión eficiente de despacho.



Nota. Información obtenida de Empresa NHOA.

Anexo 10. Diagrama del circuito BESS acoplado a Central Eólica.

