



# Análisis comparativo de sistemas de almacenamiento de energía aplicado a un parque eólico bajo condiciones aislado de la red

## Comparative analysis of energy storage systems applied to a wind farm under isolated grid conditions

PACHECO, Mayra A. [1](#); MUÑOZ, José R. [2](#) y RODRIGUEZ, Jesús A. [3](#)

Recibido: 08/01/2019 • Aprobado: 25/03/2019 • Publicado 22/04/2019

### Contenido

- [1. Introducción](#)
- [2. Metodología](#)
- [3. Resultados](#)
- [4. Conclusiones](#)

[Referencias bibliográficas](#)

#### RESUMEN:

Este artículo realiza un análisis comparativo energético y económico entre 3 sistemas de almacenamiento de energía a gran escala: CAES, Baterías Na-S y producción de hidrógeno, cuyo objetivo es almacenar el excedente de generación diaria y suplir picos de demanda para el escenario de un parque eólico que opera en modo aislado de la red suministrando a una población; con el fin de determinar el sistema que ofrezca mejores características bajo los criterios de almacenamiento planteados para su implementación.

**Palabras clave:** Sistemas de almacenamiento de energía, Parque Eólico, Aislado de la red, Generación

#### ABSTRACT:

This article develops an energetic and economic comparative analysis between 3 large-scale energy storage systems: CAES, Na-S batteries and hydrogen production, which objective is to store the surplus of daily generation and supply demand peaks in the scenario of a wind farm that operates under isolated grid conditions, supplying a population; in order to determine the system that offers better characteristics under the storage criteria proposed for its implementation.

**Keywords:** Energy storage systems, Wind Farm, Isolated Grid, Generation

## 1. Introducción

A partir de las últimas décadas, la energía eólica constituye una fuente importante para la generación de energía a nivel mundial, a día de hoy es la energía más madura y eficiente de todas las energías renovables (Bilbao, 2013, pg.1). Además, la energía eólica es una energía autóctona, disponible prácticamente en la totalidad del planeta, lo que contribuye a reducir las importaciones energéticas y a crear riqueza y empleo de forma local. Por todo ello, la producción de electricidad mediante energía eólica y su uso de forma eficiente contribuyen

al desarrollo sostenible (Traversa & Idriss, 2012).

A todo esto los costos de producción de la energía eólica son cada vez más competitivos, y la tecnología de las turbinas eólicas ya es sofisticada y se acerca a los niveles óptimos. Sin embargo, esta fuente natural de energía puede ser muy variable, lo cual es uno de los mayores impedimentos en la generalización del uso de esta tecnología a gran escala o en sustitución de tecnologías consolidadas (Bilbao, 2013, pg.1). Las variaciones bruscas de la electricidad producida por los parques eólicos provocan estados de inestabilidad en las redes eléctricas dificulta la gestión de la energía a ser inyectada, además complica el hecho de adaptar la producción de energía a la demanda en cada momento ya que la producción de energía de los parques eólicos puede bajar repentinamente.

Una de las alternativas a la producción eficiente de electricidad a partir del recurso eólico es la utilización de grandes y complejos sistemas de almacenamiento que permitan gestionar la energía producida controlando armónicos, excesos de energía, supliendo baja producción, etc. Conociendo la cantidad de Energía promedio anual, mensual y diaria que genera el Parque Eólico al igual que la demanda a la que suple y contrarrestando dichos valores, se puede estimar la cantidad de energía que necesita ser almacenada por el SAE (Sistema de Almacenamiento de Energía).

Ante esto, los esfuerzos en solucionar estos problemas han llevado al desarrollo de varios tipos de sistemas de almacenamiento para parques eólicos entre los cuales sobresalen Hidroelectricidad Bombeada, Almacenamiento con aire comprimido, Pilas de hidrógeno, Baterías y dependiendo de si la zona es apta, almacenamiento geotérmico (FENERCOM, 2011), siendo cada sistema muy diferente e independiente el otro y difiriendo en eficiencias y comportamiento de acuerdo a la cantidad de energía a almacenar.

Es por ello que en el presente estudio se realiza un análisis comparativo desde el punto de vista técnico y económico entre tres tipos de sistemas de almacenamiento de energía a gran escala para parques eólicos en el escenario de un Parque Eólico de 16,5 MW de potencia nominal que hipotéticamente opera en modo aislado de la red supliendo a una población de 26000 clientes. Las tecnologías a ser analizadas por cumplir con los requerimientos energéticos del escenario de estudio son: CAES (Almacenamiento de Energía por aire comprimido), Baterías Na-S y generación de hidrogeno, las cuales deberán ser capaces de almacenar el excedente de generación diaria del parque y además suplir los picos de demanda de la población. Se analiza el comportamiento, características, requerimientos y parámetros energéticos, costos estimados de instalación y mantenimiento, factibilidad y viabilidad de cada una de los sistemas de almacenamiento, con el fin de determinar el sistema que ofrezca las mejores características bajo los criterios de almacenamiento planteados.

Analizar estos diferentes tipos de sistemas de almacenamiento, nos permite en primera instancia brindar soluciones a los problemas de fluctuaciones de energía que presenta la generación del parque y todos los inconvenientes que esto conlleva para la red eléctrica, ya que al usar un sistema de almacenamiento se adapta la generación al consumo logrando así que el suministro de energía sea continuo y además fiable. Además se identifica la factibilidad de implementar este tipo de sistemas de almacenamiento a gran escala cuando se trata de un parque eólico que trabaja en modo aislado de la red.

---

## **2. Metodología**

### **2.1. Planteamiento del escenario y determinación de la cantidad de energía a almacenar.**

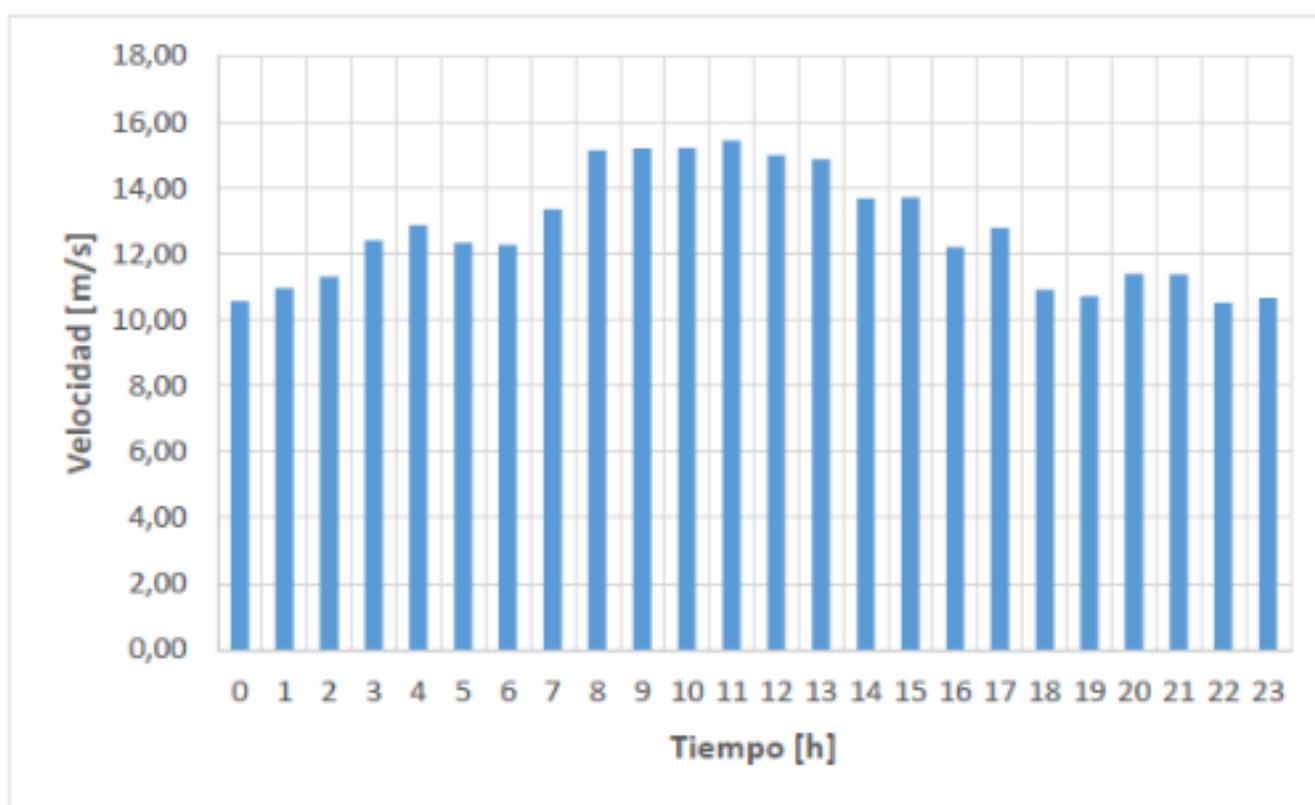
Para realizar el análisis comparativo entre los diferentes sistemas de almacenamiento inicialmente se define el escenario de estudio en este caso se plantea un parque eólico que trabaje en modo aislado de la red suministrando energía o abasteciendo a una comunidad hipotética ubicada en las cercanías del emplazamiento. Se determina la cantidad de energía a almacenar haciendo un contraste entre la curva promedio diaria anual de generación del parque eólico y la curva promedio diaria anual de demanda de la población.

Para la estimación de la curva de generación del parque eólico se trabaja con datos reales de velocidades de viento de un parque eólico existente en Loja - Ecuador en la localidad del Villonaco el cual encuentra en operación, Parque Eólico Villonaco, de capacidad instalada de 16,5 MW, constituido por 11 turbinas eólicas GOLDWING 70-1500. Gracias a estudios previos al montaje del parque eólico, existen históricos con información de mediciones de viento realizadas previamente en el emplazamiento, las cuales corresponden al año 2004, las cuales nos son útiles posteriormente para el cálculo de energía generada por el parque (Ollague, y Crespo, 2014).

En base la información sobre velocidades de viento promedio y características atmosféricas del emplazamiento que se han obtenido de estudios que el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables ha realizado en esta zona (Normanwind, 2003) se determinan las mediciones promedio diaria anual de velocidades de viento a la altura del buje en el parque en el año 2004 como se muestra en la Figura 1, datos que en conjunto con la curva de potencia de los aerogeneradores utilizados Figura 2, permiten estimar la curva de generación diaria del parque eólico Figura 3. Para esto se desprecian efectos de retraso de partida de la turbina debido a la resolución de los datos (1hora). Se calcula la potencia generada en función de las velocidades de viento para cada hora y finalmente se obtiene la cantidad de energía diaria generada por el parque eólico.

**Figura 1**

Perfil promedio diario anual de velocidades de viento

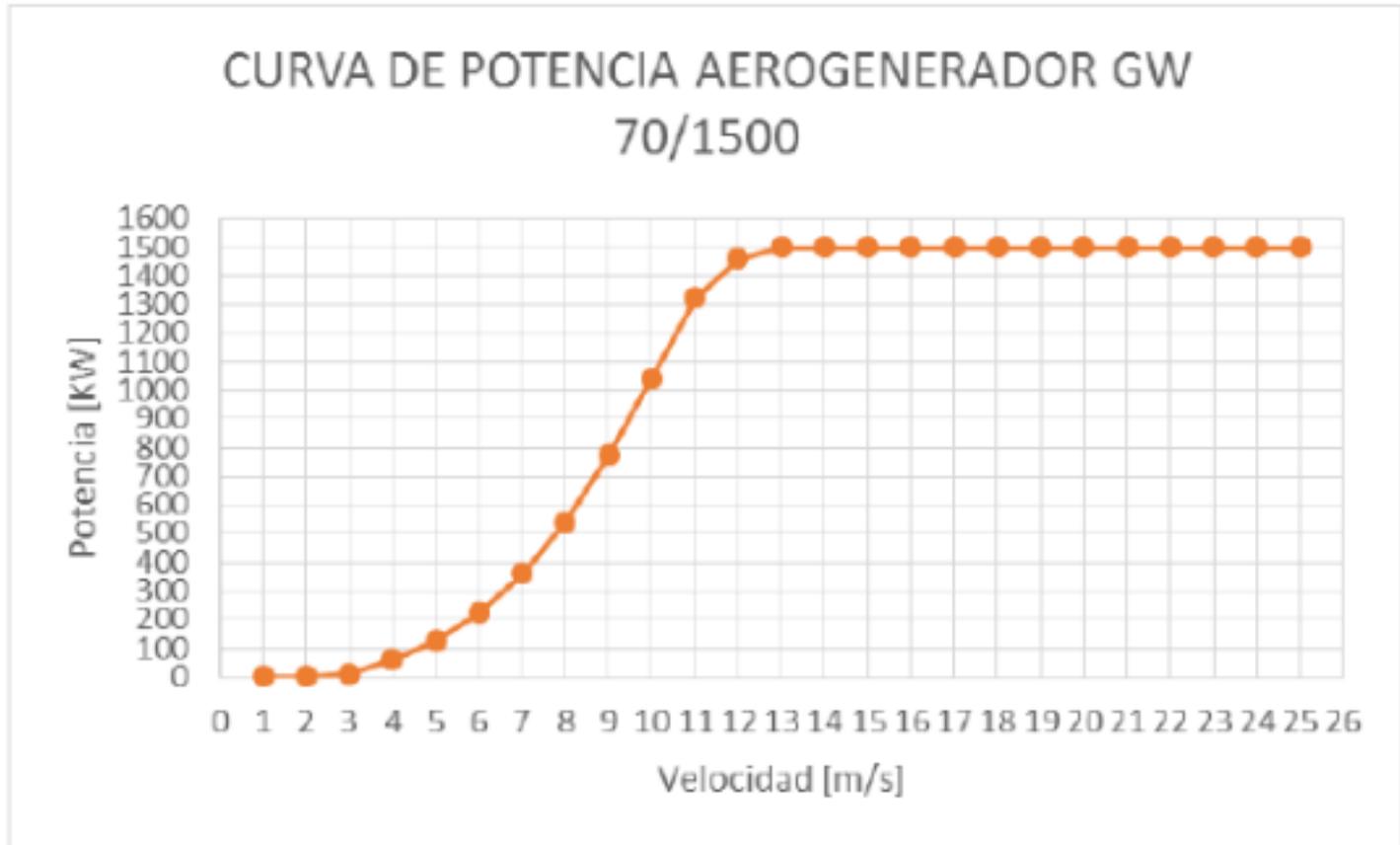


Fuente: Elaboración Propia

-----

**Figura 2**

Curva de Potencia del aerogenerador GOLDWIND 70/1500.

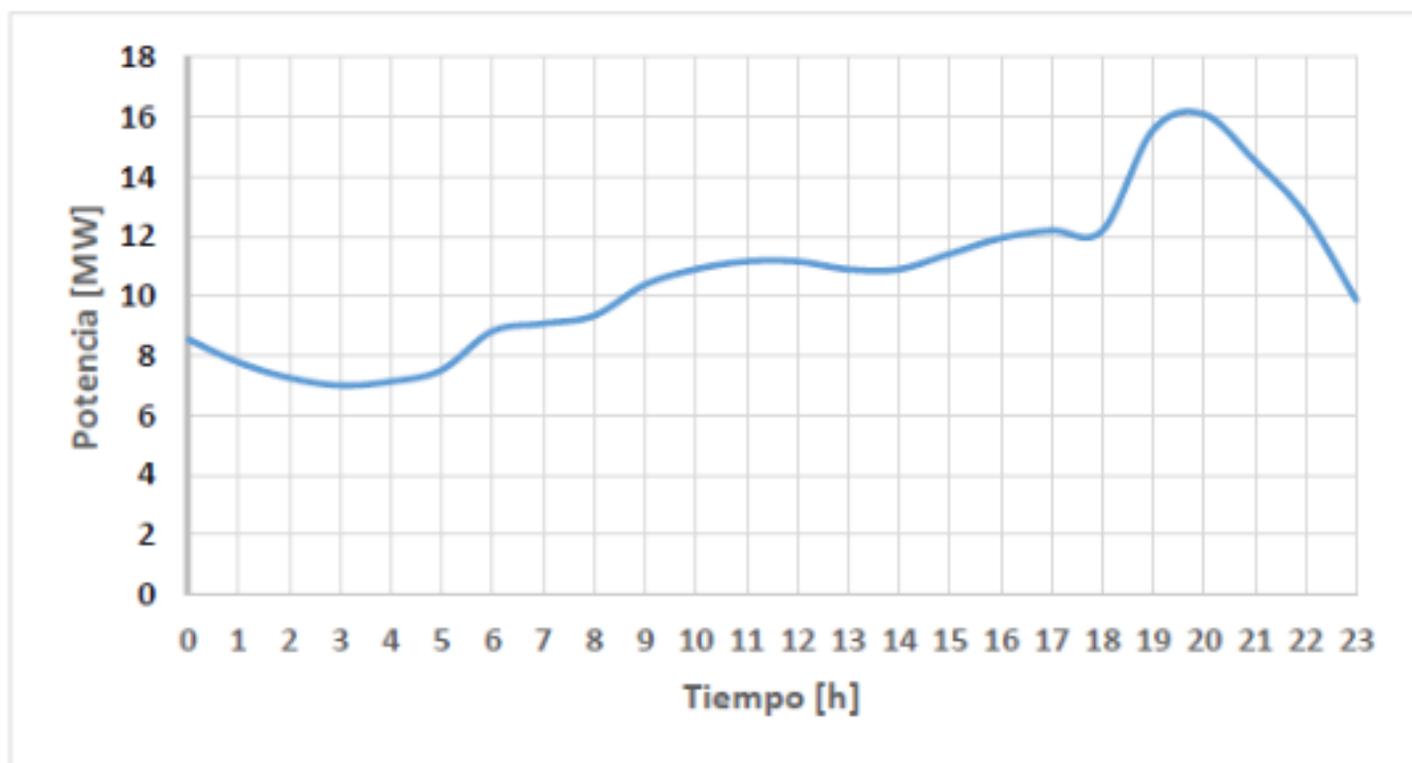


Fuente: Aguayo, 2012

-----

**Figura 3**

Curva de generación horaria promedio anual del parque eólico.



Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a este cálculo, la energía estimada de generación diaria del parque corresponde a 375232 [kWh].

En cuanto a la caracterización de la demanda, se asume que el parque suplirá la demanda de una población completa hipotética de 26000 usuarios eléctricos en modo aislado de la red. Para lo cual se recurre a analizar el comportamiento de la curva de demanda diaria aproximada en la población de Loja-Ecuador (Gonzales, 2014), la cual está en las cercanías del emplazamiento y nos servirá como guía para nuestro estudio. Posteriormente se procede a estimar nuestra curva de demanda en base al comportamiento de la curva tomada como referencia determinando así la curva de demanda diaria con una resolución horaria y la energía total requerida para nuestra población hipotética de 26000 usuarios eléctricos por día Figura 4.

**Figura 4**  
Demanda energética estimada para el caso de estudio



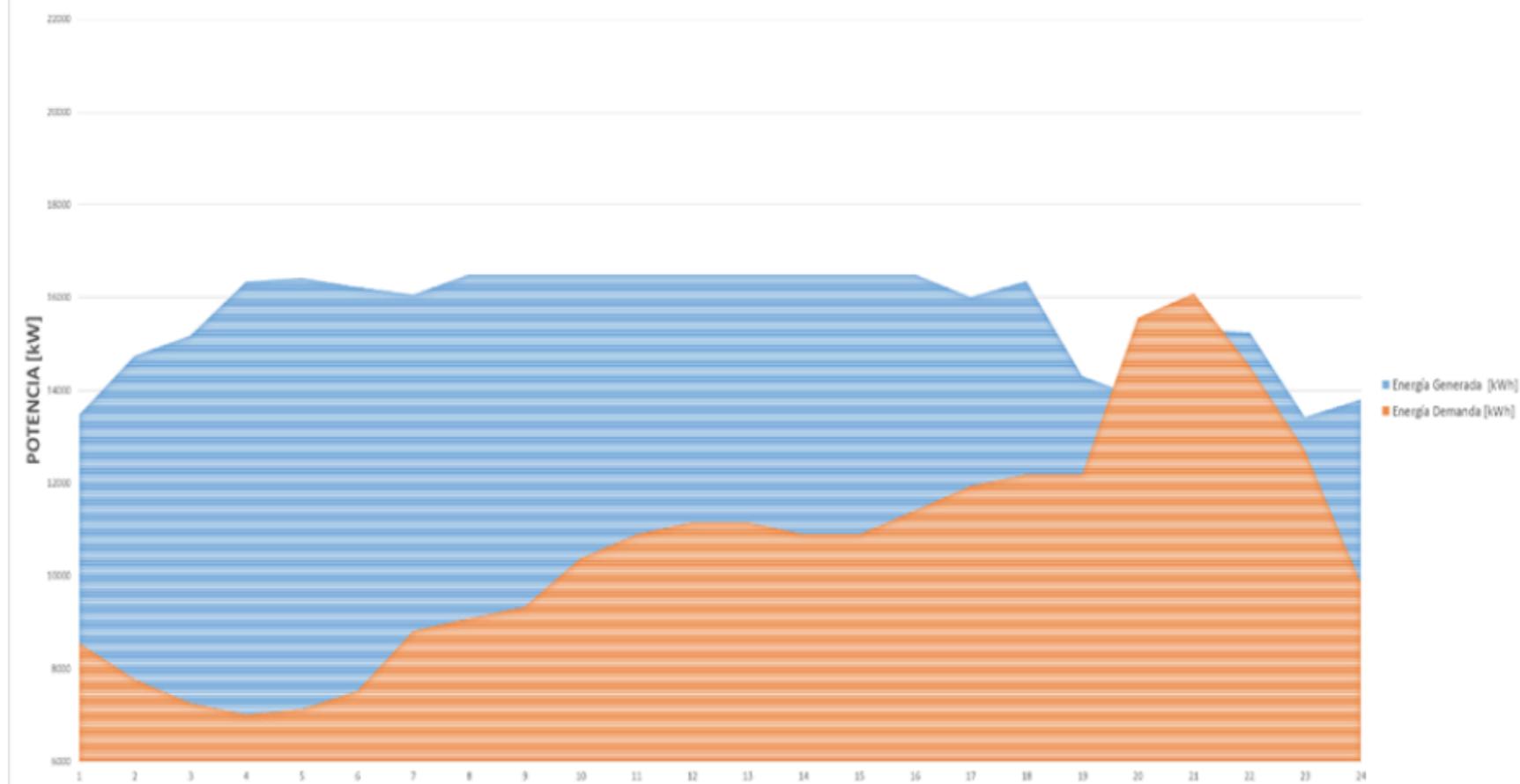
Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la curva de demanda presenta un pico de demanda de energía que se encuentra entre las 18:00 y 23:00 horas, debido al uso de las luminarias y aparatos electrodomésticos durante la noche, que es la hora en la que todas las familias llegan a casa justificándose de esta forma un consumo pico de 16084 [kW]. Al ser únicamente consumidores de tipo residencial el resto del día se puede apreciar que la demanda es constante en horas de la mañana y comienza a crecer paulatinamente en horas de la tarde con pequeños picos de consumo hasta llegar a la hora pico mencionada anteriormente. De esta forma el consumo de energía promedio diaria es de 254365,31 [kWh].

Una vez conocida la energía promedio diaria tanto de generación como de consumo, se procede a hacer un contraste entre ellas, para determinar así la cantidad de energía que es necesario almacenar en el SAE (Sistema de Almacenamiento de Energía) Figura 5, observándose así que la generación estimada del parque eólico cubre casi en su totalidad la demanda de la población excepto entre las 18 y 20:30. Por lo antes mencionado, el sistema de almacenamiento debe ser capaz de almacenar todo el excedente eólico y por otra parte cubrir el déficit de energía presente entre las 18 y 20:30.

**Figura 5**  
Curva promedio diaria anual de Generación  
Vs Curva promedio diaria anual Demanda.

## GENERACIÓN VS DEMANDA



Fuente: Elaboración Propia

De esta forma la cantidad de energía que se necesita almacenar es de 120,9 [MWh], a una potencia máxima de 9,33 [MW] durante aproximadamente 18 horas.

## 2.2. Análisis del sistema de almacenamiento CAES (Compressed Air Storage System)

Se realiza un análisis energético considerando un CAES diabático con eficiencias de alrededor del 73% y un ratio de producción promedio de 1,4 para esta tecnología CAES formada por un tren de compresión de dos equipos, una cámara de almacenamiento y un tren de expansión a su vez también de 2 turbinas con sus respectivas cámaras de combustión, por lo que el consumo de kilovatios hora térmicos son necesarios para precalentar el aire antes de la entrada al sistema. (Muñoz, 2015).

El ratio de producción de este tipo de tecnología es de 1,2- a 1,8, para esta estimación tomaremos un ratio de producción intermedio de 1,4. Sabiendo la energía consumida podemos calcular cual debe ser la energía generada en la descarga del sistema de almacenamiento (Muñoz, 2015). Donde:

$$\text{Ratio de producción} = \frac{\text{Energía Generada}}{\text{Energía eléctrica Consumida}} \quad (1)$$

Se toma como referencia datos de plantas existentes, donde para la producción de un 1[kWh], esta tecnología consume 0,69 [kWh] eléctricos y 1,3 [kWh] térmicos (1). Se considera también para este tipo de tecnología una densidad energética promedio de 45 Wh/L, trabajando a presiones de no superiores a 65 bares convenientes para potencias en rangos de nuestra potencia nominal requerida. Finalmente se consideran costos de instalación en donde equipos como compresores y turbinas representan un 11% y 19% del total, pero siendo aún más sobresaliente con un 42% los costos de construcción y mano de obra requeridas (Parfomak, 2012).

## 2.3. Análisis del sistema de almacenamiento con baterías NA-S

El banco de baterías se compone de módulos formados por celdas de Na-S asociadas en serie y en paralelo para conseguir la capacidad requerida. Se selecciona el modelo PS-G50"

Module de NKG (Gallego, 2014). Se supone una tensión media en cada módulo es de 128 [V] en descarga y  $C_{des}=2812,5$  [Ah], y considerando una profundidad de descarga máxima del 50%, para elevar el número de ciclos de vida, se obtiene la energía que cada módulo suministra. Tomando en cuenta los parámetros energéticos a suplir se consideran necesario el uso de 200 módulos distribuidos en 40 filas de 5 módulos en serie. Esta distribución se la estima tomando como factor importante la tensión nominal requerida para el sistema que es de 640 V. Se estima un volumen de montaje total de 580 . Los costes de este tipo de sistemas se estiman en 318 [\$/kWh] por inversión y 3,34 [\$/kWh] para la operación y mantenimiento (Bilbao, 2013).

## 2.4. Análisis del sistema de almacenamiento de energía por generación de Hidrógeno

El sistema de almacenamiento de energía a base de hidrógeno eta formado por un electrolizador para producir el hidrógeno, un depósito de almacenamiento del hidrógeno producido y, en caso de que el caso de que el hidrógeno se aproveche nuevamente como electricidad, una pila de combustible que realice esa labor.

Se estiman como principales parámetros energéticos de este tipo de sistemas 33,33 [kWh/kg] de energía específica y 0,002993 [kWh/l] de Densidad de energía. Se concluye para esta clase de sistemas una eficiencia de conversión de 52,5 [kWh/kg] promedio en electrolizadores eficientes (Rodríguez, Riso, Jiménez, Ottogalli, Santa Cruz, Aisa, & Leiva, 2012), con lo que se calcula la cantidad de kg de  $H_2$  que el electrolizador es capaz de producir con 120866,69 [kWh] de energía excedente desde el Parque Eólico, siendo esta 2302,22 Kg de  $H_2$ . A partir de esto e determina un volumen de acumulación para el cual se supone el uso de cilindros de aluminio o metal inoxidable envueltos en fibra de carbono a una presión de 280 bares (Guervós, 2003), presión a la cual la densidad volumétrica del gas puede alcanzar valores de 12 [kg/m<sup>3</sup>]. Siendo este de 191 m<sup>3</sup> ó 191000 Litros necesarios para la cantidad de hidrógeno producida por el sistema. Con valores de eficiencia de pilas de combustible existentes en el mercado se adopta para este una rendimiento promedio de las mismas del 45% por lo que la energía descargada por el sistema es mucho menor que la energía almacenada al perderse esta un 55% durante la conversión en la pila de combustible.

Los costes de instalación de este tipo de tecnología son elevados siendo el de la celula de combustible el más representativo con 3000 [\$/KW] (Parfomak, 2012).

## 3. Resultados

Analizando los parámetros más importantes de cada uno de los sistemas de almacenamiento seleccionados, se puede ver que inicialmente en el caso del CAES, la energía eléctrica descargada 169213,366 [kWh] es mucho mayor a la energía eléctrica consumida para el almacenamiento, lo cual se debe a que tiene un ratio de producción mayor a uno. Este ratio es mayor a 1 debido a que en este tipo de sistemas, además de la energía eléctrica consumida, también se consume energía térmica para precalentar el aire a la entrada del tren de turbinas de expansión. Por lo que en este caso se requiere adicionalmente un consumo de de gas natural. En cuanto al volumen de almacenamiento de , debemos este valor alto a la presión con la que generalmente se comprimen este tipo de sistemas de 65 bar, ya que a menor presión mayor volumen de acumulación a diferencia del volumen de acumulación para hidrógeno que es mucho menor debido a sus altas presiones de almacenamiento.

**Tabla 1**

Parámetros energéticos y económicos calculados para el sistema CAES (Compressed air energy storage).

PARÁMETRO ANALIZADO	VALOR
Energía de carga	120,86669 [MWh]

<b>Ratio de producción</b>	1,4
<b>Energía de descarga</b>	169,21366 [MWh]
<b>Consumo de energía térmica</b>	219977,37 [kWh]
<b>Volumen de acumulación necesario</b>	3760,30 [m3]
<b>Eficiencia de energía primaria</b>	0,49
<b>Costo total</b>	8'024.273 \$.

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto al almacenamiento en baterías, la energía de carga y descarga que esta permite son menores que energía total que se requiere almacenar en el caso de estudio. Esto debido a que la celda escogida tiene una limitación en cuanto al número de horas de almacenamiento que permite, el cual es no mayor a 10 horas por lo que parte de la energía generada en el parque se pierde y solo 82160 [kWh] pueden ser almacenados y 64800[kWh] descargados. A diferencia del CAES e hidrógeno esta tecnología únicamente requiere un volumen de acumulación de 580 para el montaje de 200 módulos de esta tecnología.

**Tabla 2**

Parámetros energéticos y económicos calculados para el sistema de almacenamiento con baterías Na-S.

<b>PARÁMETRO ANALIZADO</b>	<b>VALOR</b>
<b>Energía de carga</b>	82160 [kWh]
<b>Energía de descarga</b>	64800 [kWh]
<b>Energía de carga por módulo</b>	410,8 [kWh]
<b>Energía de descarga por módulo</b>	324 [kWh]
<b>Volumen de acumulación por módulo</b>	2,9 [m3],
<b>Volumen de acumulación total necesario</b>	580 [m3]
<b>Número de módulos</b>	200
<b>Coste Inversión</b>	22'896.000 \$
<b>Costes de O y M</b>	240480 \$

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente en un sistema de almacenamiento utilizando hidrógeno, con la cantidad de energía disponible para almacenar se estimó una producción de hidrógeno de 2302,22 Kg con un volumen de acumulación 191 , que es por mucho menor al volumen necesario en un sistema CAES. Esto es entendible debido a las presiones que se manejan en los distintos sistemas ya que a mayor presión menor volumen de acumulación y en hidrogeno se trabaja

con presiones de 280 bares. En este sistema es claro que la energía a la salida está muy por debajo del total de energía consumida con un valor de 34529,84[kWh], atribuyéndole esto a que el electrolizador requiere mucha energía para producir hidrógeno y que del hidrógeno acumulado, solo se puede recuperar una parte debido a las bajas eficiencias de la pila de combustible.

En cuanto a costes el sistema de almacenamiento CAES refleja un coste de 8'024.273 \$, en contraste con los 22'896.000 \$ y 35'791.259 \$ de un sistema de baterías e hidrógeno respectivamente. Confirmando así que tiene el coste más bajo de inversión que cualquier otra tecnología.

**Tabla 3**

Parámetros energéticos y económicos calculados para el sistema de almacenamiento por generación de hidrógeno.

PARÁMETRO ANALIZADO	VALOR
Energía de carga	120866,69 [kWh]
kg de Hidrógeno producido	2302,22 [kg]
Volumen de acumulación necesario	191 [m <sup>3</sup> ]
Energía de descarga	34529,84[kWh]
Costo	35'791.259,3 \$

Fuente: Elaboración Propia

## 4. Conclusiones

Con base al análisis comparativo de los resultados obtenidos al contrastar los parámetros estudiados en cada uno de los sistemas de almacenamiento se determina que para el caso de estudio planteado el sistema de almacenamiento más óptimo para implementación es el CAES (Compressed Air Energy Storage) ya que considerando un aporte extra de [kWh] térmicos utilizados en el proceso de compresión expansión, presenta un alto ratio de producción de 1,4, característica que le permite durante el proceso de descarga generar 169,21366 [MWh] lo cual es una cantidad mayor que la energía consumida durante la carga satisfaciendo de esta manera los requerimientos de almacenamiento y descarga de energía necesaria durante el pico de demanda, además presenta un coste de instalación de 8 024 273 dólares muy por debajo de los demás sistemas, con un volumen de acumulación grande necesario de 3760,30 [m<sup>3</sup>] en correspondencia al tipo de instalación, permitiendo este una descarga del casi el 100% de energía almacenada a diferencia de la descarga parcial que presentan los demás sistemas de almacenamiento.

## Referencias bibliográficas

Aguayo, L. (2012). *Propuesta de optimización estructural de torre eólica metálica sometida a cargas estáticas*. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

Bilbao, P. A. (2013). *Dimensionamiento óptimo de sistemas de almacenamiento para centrales eólicas*. (Tesis de Ingeniería). Universidad de Chile. Santiago de Chile.

FENERCOM (2011), *Guía de Almacenamiento de Energía*. Madrid: Fundación de la energía de la comunidad de Madrid FENERCOM. Recuperado el 16 agosto de 2018 en: <https://www.fenercom.com/pages/publicaciones/publicaciones-fenercom.html>

Gallego, J. (2014). *Sistemas de acumulación de energía eléctrica para Centrales de generación hidráulicas fluyentes*. (Tesis de Maestría). Universidad de Sevilla. Sevilla.

- González, W. (2014). *Impacto de la implementación del sistema de cocción de inducción electromagnética en las redes de distribución de la Empresa Eléctrica Regional el Sur. S.A en la ciudad de Loja*. (Tesis de Ingeniería). Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador.
- Guervós, M. E. (2003). Principales Técnicas de almacenamiento de hidrógeno. Recuperado el 10 de Septiembre de 2018 en: <http://estherguervos.galeon.com/4alm.pdf>
- IDAE (2006), *Manuales de Energías renovables 3*. Madrid: Instituto para la diversificación y ahorro de la Energía IDAE. Recuperado el 14 agosto de 2018 en: <http://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables>
- Muñoz, A. (2015). *Almacenamiento de energía mediante aire comprimido: Plantas CAES*. (Tesis de Ingeniería). Universidad de Sevilla. Sevilla.
- Normandwind, Consultora del viento. (2003). *Descripcion del Villonaco (Loja)*. Barcelona.
- Ollague, H., & Crespo, H. (2014). *Estudio y Evaluación de los parámetros de operación del proyecto eólico Villonaco de la provincia de Loja Ecuador*. (Tesis de Ingeniería).Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca.
- Parfomak, P. (2012). *Energy Storage for Power Grids and Electric transportation: A technology assessment*. Congressional Research Service, Pág. (75-86).
- Rodríguez, C., Riso, M., Jiménez, Y., Ottogalli, R., Santa Cruz , R., Aisa , S., Leiva, E. (2012). *Análisis de la producción de hidrógeno en la provincia de Córdoba a partir de recurso Eólicos*. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. (Rodríguez, Riso, Jiménez, Ottogalli, Santa Cruz, Aisa, & Leiva, 2012)
- Tan, X., Li, Q., & Wang, H. (2012). *Advances and trends of energy storage technology in Microgrid. Electrical Power and Energy Systems. Vol 44, 179-191*.
- Traversa, E., & Idriss, H. (2012). Materials for Renewable and Sustainable Energy provides the connection between materials, energy, and sustainability. *Materials for Renewable and Sustainable Energy, 1(1), 1-2*. Recuperado de: <http://doi.org/10.1007/s40243-012-0002-x>
- 

## Anexos

### ANEXO 1

Datos de demanda promedio diaria anual tomados como base para la caracterización de la curva de demanda y estimación de demanda para 26000 clientes

DATOS CURVA DE DEMANDA DIARIA				
Numero de clientes = 26000				
Hora	DEMANDA [kW]	Ponderado	Demanda por cliente [kW]	Demanda total [kW]
0	16500	0,53	0,33	8560,99
1	15000	0,48	0,30	7782,72
2	14000	0,45	0,28	7263,87
3	13500	0,44	0,27	7004,45
4	13750	0,44	0,27	7134,16
5	14500	0,47	0,29	7523,30
6	17000	0,55	0,34	8820,42
7	17500	0,56	0,35	9079,84
8	18000	0,58	0,36	9339,27
9	20000	0,65	0,40	10376,96
10	21000	0,68	0,42	10895,81
11	21500	0,69	0,43	11155,24
12	21500	0,69	0,43	11155,24
13	21000	0,68	0,42	10895,81
14	21000	0,68	0,42	10895,81
15	22000	0,71	0,44	11414,66
16	23000	0,74	0,46	11933,51
17	23500	0,76	0,47	12192,93
18	23500	0,76	0,47	12192,93
19	30000	0,97	0,60	15565,44
20	31000	1,00	0,62	16084,29
21	28000	0,90	0,56	14527,75
22	24500	0,79	0,49	12711,78
23	19000	0,61	0,38	9858,11
Total	490250		9,78	254365,31

Fuente: Elaboración Propia

-----

## ANEXO 2

Velocidades de viento promedio horarias mensuales en el emplazamiento y cálculo de la producción diaria anual promedio de energía por aerogenerador y del parque eólico en conjunto, energía demandada diariamente y total de energía a almacenar

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Velocidad promedio Annual [m/s]	Ponderado	Velocidad promedio anual ponderada [m/s]	Energía Diaria Aerogenerador [kWh]	Energía Diaria Parque [kWh]	Demanda Diaria [kW]	Energía a Almacenar [kWh]
0	1,02	7,79	16,25	7,03	14,60	16,98	17,60	25,09	18,44	1,88	5,91	6,70	11,61	0,685	10,57	1225,00	13475	8560,99	4914,01
1	1,53	8,01	15,02	8,44	14,24	19,47	16,18	24,49	19,08	4,69	6,21	7,12	12,04	0,710	10,96	1340,00	14740	7782,72	6957,28
2	1,02	8,23	17,06	7,03	14,08	20,97	15,70	23,89	19,72	7,50	6,50	7,32	12,42	0,732	11,31	1380,00	15180	7263,87	7916,13
3	4,09	8,78	21,10	10,55	14,01	22,47	16,18	24,49	19,08	9,38	5,91	7,53	13,63	0,804	12,41	1485,00	16335	7004,45	9330,55
4	3,68	9,33	21,77	11,43	15,19	23,97	17,60	25,09	18,44	9,85	5,32	7,95	14,13	0,834	12,87	1493,00	16423	7134,16	9288,84
5	4,60	9,87	8,27	12,31	15,21	23,47	19,03	25,68	18,76	11,25	5,91	8,37	13,56	0,800	12,34	1475,00	16225	7523,30	8701,70
6	5,12	10,09	4,18	6,68	17,49	24,96	20,46	26,28	19,08	12,19	6,50	8,58	13,47	0,794	12,26	1460,00	16060	8820,42	7239,58
7	4,09	13,71	12,21	7,38	16,06	26,46	20,93	26,88	19,72	12,66	7,09	8,79	14,67	0,865	13,35	1500,00	16500	9079,84	7420,16
8	8,18	14,81	23,76	8,44	16,93	27,96	21,89	27,47	20,35	13,13	7,39	9,21	16,63	0,981	15,14	1500,00	16500	9339,27	7160,73
9	13,10	18,10	16,59	8,79	15,95	28,46	21,41	27,77	20,99	11,25	8,28	9,63	16,69	0,984	15,19	1500,00	16500	10376,96	6123,04
10	15,35	15,91	15,45	10,55	16,84	28,96	20,93	27,47	21,62	9,38	8,87	9,21	16,71	0,986	15,21	1500,00	16500	10895,81	5604,19
11	17,39	17,00	15,87	11,78	18,22	26,96	20,93	26,88	22,26	7,50	9,46	9,21	16,96	1,000	15,43	1500,00	16500	11155,24	5344,76
12	21,89	15,91	11,12	12,13	17,28	24,96	19,98	26,28	21,62	6,57	10,05	9,63	16,45	0,970	14,98	1500,00	16500	11155,24	5344,76
13	22,51	14,26	12,93	12,66	17,97	22,97	18,08	25,68	19,72	8,44	10,64	10,05	16,32	0,963	14,86	1500,00	16500	10895,81	5604,19
14	18,41	12,62	11,55	11,95	14,28	20,97	17,13	23,89	17,81	10,32	11,23	10,05	15,02	0,886	13,67	1500,00	16500	10895,81	5604,19
15	19,44	10,42	15,35	12,48	16,71	18,97	16,18	22,10	15,90	12,19	11,82	9,21	15,06	0,888	13,71	1500,00	16500	11414,66	5085,34
16	16,37	5,49	4,80	15,82	15,49	17,97	16,18	21,20	13,99	13,13	11,53	8,79	13,40	0,790	12,19	1455,00	16005	11933,51	4071,49
17	11,25	8,78	23,19	13,71	14,27	16,98	15,23	20,01	12,08	14,07	10,64	8,37	14,05	0,829	12,79	1487,00	16357	12192,93	4164,07
18	7,16	7,68	10,74	11,78	14,06	15,48	14,75	19,71	12,72	11,72	9,75	8,37	11,99	0,707	10,92	1300,00	14300	12192,93	2107,07
19	6,14	7,57	9,51	12,31	15,41	16,98	15,70	20,90	13,36	8,44	8,87	5,86	11,75	0,693	10,70	1260,00	13860	15565,44	-1705,44
20	3,07	6,58	16,49	12,31	14,73	19,47	16,65	22,70	14,95	9,85	7,98	5,44	12,52	0,738	11,39	1390,00	15290	16084,29	-794,29
21	0,51	9,00	15,21	11,43	13,99	22,97	17,60	24,49	13,99	8,44	7,09	5,23	12,50	0,737	11,37	1387,00	15257	14527,75	729,25
22	1,64	8,23	2,66	12,13	16,17	22,97	18,56	25,09	13,36	6,57	6,50	4,81	11,56	0,682	10,52	1220,00	13420	12711,78	708,22
23	2,25	7,68	6,51	12,48	17,38	22,97	19,03	25,68	12,72	3,75	5,91	4,19	11,71	0,691	10,66	1255,00	13805	9858,11	3946,89
													<b>Total</b>	<b>19,748</b>	<b>12,70</b>	<b>34112,00</b>	<b>375232</b>	<b>254365,31</b>	<b>120866,69</b>

Fuente: Elaboración Propia

1. Ingeniera en electrónica, control y redes Industriales, Máster en Tecnología energética para el desarrollo sostenible en la especialidad de Energías Renovables. Docente Investigadora CEEA (Centro de Investigación de Energías Alternativas y Ambiente), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). [mayra.pacheco@epoch.edu.ec](mailto:mayra.pacheco@epoch.edu.ec)
2. Doctor en Física, Máster en Energías Renovables. Docente Investigador CEEA (Centro de Investigación de Energías Alternativas y Ambiente), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). [dm17850@yahoo.es](mailto:dm17850@yahoo.es)
3. PhD en Control Automático. Docente Investigador CEEA (Centro de Investigación de Energías Alternativas y Ambiente), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). [jesus.rodriguez.flores.2009@gmail.com](mailto:jesus.rodriguez.flores.2009@gmail.com)

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 40 (Nº 13) Año 2019

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](#)]