



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**ESTUDIO DE UN SISTEMA HÍBRIDO HIDRO-SOLAR: ACUMULACIÓN DE ENERGÍA  
GENERADA POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO A TRAVÉS DE UNA PICO  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA REVERSIBLE.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: JOSUÉ PATRICIO CALLE CALLE

TUTORA: ING. NATALIA XIMENA GONZÁLEZ ÁLVAREZ, Mgr.

Cuenca - Ecuador

2022

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Josué Patricio Calle Calle con documento de identificación N° 0105544282, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 28 de octubre del 2022

Atentamente,



---

Josué Patricio Calle Calle

0105544282

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA**

Yo, Josué Patricio Calle Calle con documento de identificación N° 0105544282, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo académico: “Estudio de un sistema híbrido hidro-solar: acumulación de energía generada por un sistema fotovoltaico a través de una pico central hidroeléctrica reversible.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 28 de octubre del 2022

Atentamente,



---

Josué Patricio Calle Calle

0105544282

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Natalia Ximena González Álvarez con documento de identificación N° 1205860974, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ESTUDIO DE UN SISTEMA HÍBRIDO HIDRO-SOLAR: ACUMULACIÓN DE ENERGÍA GENERADA POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO A TRAVÉS DE UNA PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA REVERSIBLE., realizado por Josué Patricio Calle con documento de identificación N° 0105544282, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 28 de octubre del 2022

Atentamente,



---

Ing. Natalia Ximena González Álvarez, Mgtr.

1205860974

## DEDICATORIA

*Este trabajo de titulación está dedicado a mi madre y hermano por su apoyo incondicional y plena confianza en mí. Razón por la cual he logrado culminar satisfactoriamente mis estudios. Les dedico este trabajo final, retribuyéndoles como me es posible su esfuerzo puesto en mí.*

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a mi madre, por apoyarme en todo momento y que muchas de las veces sacrificó algo para que saliera adelante y no dejarme solo. Por ser la persona que nunca se rindió en que tuviera una buena educación. Gracias por siempre confiar en mí y en lo que puedo llegar a ser.*

*Agradezco a mi hermano, es un pilar esencial en mi vida personal y estudiantil. Por sus consejos, para que no me diera por vencido en los momentos más complicados. Gracias por ser un ejemplo para mí y enseñarme que por más complejo que sea el momento siempre se puede ser el mejor.*

*Agradezco a mi tutora la Ing. Natalia González, por su inmensa ayuda, constancia y dedicación durante el tiempo que realicé este trabajo. Gracias por la importancia que tuvo al tema y a mí personal al desarrollar este trabajo de titulación. Que Dios y la virgen María siempre le acompañen en su vida personal y profesional.*

# ESTUDIO DE UN SISTEMA HÍBRIDO HIDRO-SOLAR: ACUMULACIÓN DE ENERGÍA GENERADA POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO A TRAVÉS DE UNA PICO CENTRAL HIDROELÉCTRICA REVERSIBLE.

Josué P-Calle, *Member, IEEE*, Natalia X-Gonzalez, *Member, IEEE*

**Resumen**—Este artículo presenta el análisis y la comparación de dos sistemas de acumulación de energía. El primero mediante un banco de baterías y el segundo utilizando un sistema de bombeo para una pico central hidroeléctrica. Con este estudio se quiere determinar cuál de ellos es el más viable a corto, mediano y largo plazo mediante consideraciones técnicas y económicas. El diseño tanto del sistema de baterías como el de bombeo se ha basado en la disponibilidad del recurso solar e hídrico. La tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y el costo nivelado de la electricidad (LCOE) se emplean como métricas de evaluación de cada sistema. Los resultados de este trabajo muestran desde el punto de vista económico que el sistema de bombeo es el más viable para el almacenamiento de energía. La evaluación económica de los proyectos tecnológicos es importante al momento de realizar las decisiones, debido a que proporcionan información de su rentabilidad a lo largo de su vida útil.

**Index Terms**—Diseño, acumulación, baterías, bombeo hidráulico, VAN, TIR.

## Nomenclatura

|           |  |
|-----------|--|
| $h_3$     | Altura del depósito inferior al superior (m) |
| $h_b$     | Cabeza neta de la bomba (m)                  |
| $h_f$     | Perdidas por fricción (m)                    |
| $h_{PB}$  | Altura del pozo a la bomba (m)               |
| $h_{BD}$  | Altura de la bomba a depósito superior (m)   |
| $S_F$     | Demanda del sistema (W)                      |
| $P_p$     | Potencia del panel solar (W)                 |
| $C_{20}$  | Capacidad de almacenamiento (Ah)             |
| HSP       | Horas Solares Pico (h)                       |
| $P_D$     | Profundidad de descarga (%)                  |
| $T_B$     | Tiempo de bombeo (s)                         |
| $V_s$     | Voltaje del sistema (V)                      |
| $V_{max}$ | Voltaje máximo del panel (V)                 |
| $V_{bat}$ | Voltaje de la batería (V)                    |
| $E_s$     | Energía del sistema (kWh)                    |
| $E_p$     | Energía potencial almacenada (kWh)           |
| $A$       | Área de la tubería ( $mm^2$ )                |
| $P$       | Presión atmosférica (pa)                     |
| $V$       | Velocidad (m/s)                              |
| $V_o$     | Volumen ( $m^3$ )                            |
| $m$       | Masa (kg)                                    |
| $Q$       | Caudal ( $m^3/s$ )                           |
| $g$       | Gravedad ( $m/s^2$ )                         |

|           |  |
|-----------|--|
| $\gamma$  | Peso específico del agua ( $N/m^3$ )             |
| $\rho$    | Densidad del agua ( $kg/m^3$ )                   |
| $\eta$    | Rendimiento de la bomba                          |
| $\mu$     | Viscosidad del fluido ( $pa \cdot s$ )           |
| $N_T$     | Número total de paneles solares                  |
| $N_s$     | Número de paneles solares en serie               |
| $N_p$     | Número de paneles solares en paralelo            |
| $B_s$     | Número de baterías en serie                      |
| $B_p$     | Número de baterías en paralelo                   |
| $D_{aut}$ | Días de autonomía                                |
| $Re$      | Coefficiente de Reynolds                         |
| $F$       | Coefficiente de fricción                         |
| $Ka$      | Coefficiente de aditamentos                      |
| $Ka_{45}$ | Coefficiente para acople de 45 grados (0.4).     |
| $Ka_{90}$ | Coefficiente para acople de 90 grados (0.9).     |
| $Ka_e$    | Coefficiente para expansor a tubería a 6" (0.3). |

## I. INTRODUCCIÓN

**E**L combinar dos o más fuentes de energías renovables no renovables, se denominan sistemas híbridos. Generalmente los sistemas híbridos renovables más comunes son eólico-solar. Sin embargo, existen otras combinaciones tales como: hidroeléctrica-solar, eólica-hidráulica o la combinación de las tres. En este caso de estudio se analizará el sistema hidro-solar. Actualmente los sistemas híbridos están siendo necesarios año tras año, principalmente por la disponibilidad de recursos comparada con sistemas de fuentes de energías renovables independientes [1].

El sistema híbrido eólico-solar en Zamora Chinchipe es interesante, debido a la ubicación rural donde implementaron, este caso tiene una potencia de 14.9 (kWp) [1]. Un claro ejemplo es el sistema híbrido eólico-fotovoltaico en baños de agua santa, Ambato, con una carga instalada de 3370.9 (W) [2]. Poza [3], presenta que los sistemas fotovoltaicos de bombeo son eficientes para entornos rurales aislados. Sin embargo, redacta algunas limitaciones y problemáticas tales como: la distribución de agua desde el depósito hasta fuentes comunales, cultivos, entre otros. La presa del Rey Talal, en Jordania [4], presenta una planta fotovoltaica, la cual está conectada con un sistema de almacenamiento

hidráulico por bombeo. Cuando la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico es superior a la demanda del sistema, la energía extra se utiliza para bombear el agua del depósito inferior al depósito superior. En la isla de Gran Canaria [5], Beltran, Rodríguez y Gracia, analizan las horas en las cuales la demanda de la isla es mayor, determinando así un aumento de demanda entre las 13H00 a 21H00 horas. Concluyen positivamente sobre el proyecto, recuperando la inversión en el 16° año, con una TIR del 7%. En Croacia, Glasnovic [6], presenta un flujo artificial de agua, utilizado por el sistema fotovoltaico que lo bombea hacia el almacenamiento hidroeléctrico, para la producción continua de energía verde. Croacia analiza dicho proyecto en dos zonas climáticas típicas: cálido y frío. Determinan que el sistema híbrido resulta adecuado para las dos zonas climáticas estudiadas. En la India, Meshram [7], indica que la implementación de sistemas híbridos de energías renovables es de gran importancia para un futuro. La eficiencia de estos sistemas energéticos es muy baja y puede mejorarse integrándolos en paralelo. En este trabajo, los sistemas hidroeléctricos son de 7,5 (kW) y los solares constan de 10 (kW), se conectan a la red pública, debido a la naturaleza intermitente de estas fuentes. De acuerdo a Melikoglu [8], la combinación de energías renovables como la hidráulica reversible, solar y eólica es el nuevo tema en lo referente a la generación de energías limpias. Turquía planea implementar un almacenamiento de energía hidroeléctrica por bombeo, debido a las ventajas de estas centrales. El gobierno turco tiene previsto producir el 30 % de su demanda eléctrica a partir de fuentes de energía renovables en 2023. En el caso de estudio propuesto por Durin [9], realiza una breve comparación de costos y determinan que el sistema híbrido hidro-solar es más costoso que la fuente eléctrica tradicional. Sin embargo, el proyecto es rentable y una buena solución para la obtención de energía a través de fuentes renovables. Suiza, es otro de los países que busca desarrollar sistemas híbridos basados en la combinación de sistemas hidroeléctricos y solares. Martinez, Ackere y Larsen [10], consideran la generación hidroeléctrica y fotovoltaica, combinada con el almacenamiento hidráulico por bombeo, para resolver el problema de sincronización entre la demanda y la generación fotovoltaica. También exploran varias combinaciones de capacidad solar instalada, niveles de embalse y bombeo. Este caso de estudio se centrará en los sistemas de acumulación por bombeo y a través de baterías para la pico central hidroeléctrica situada en la Unidad Educativa Agronómico Salesiano Campus Yugmacay, ubicado en Paute, Azuay, Ecuador.

En los sistemas híbridos la acumulación de energía es importante, debido a que las fuentes de energía renovable tienen complicaciones causadas por las épocas del año, por ejemplo si hay época de sequía, una hidroeléctrica no podrá suministrar la demanda o un sistema fotovoltaico no podrá abastecer energía en la noche, por dicha razón la acumulación de energía permite asegurar el abastecimiento del servicio eléctrico a la demanda. Hoy en día se puede acumular energía mediante baterías, pilas de combustible de hidrógeno, bombeo hidroeléctrico, aire comprimido, súper-condensadores, entre

otros [11]. Las mayormente usadas son las baterías, seguido de las de bombeo hidroeléctrico. Sin embargo, cada vez se usan con mayor frecuencia las otras formas de acumular energía, dependiendo del uso que tendrá el sistema.

En este documento se analiza y compara dos sistemas de almacenamiento de energía para la pico central hidroeléctrica ubicada en Paute, Ecuador; a través de baterías y de bombeo hidroeléctrico.

## II. DESCRIPCIÓN

La combinación de sistemas de energía renovable dependerá de varios aspectos tales como: condiciones geográficas y topológicas, así como también las meteorológicas [5]. Un sistema híbrido tiene la finalidad de aprovechar las fuentes renovables de la zona para obtener mayor eficiencia, representando así soluciones viables para zonas aisladas. Dentro de las centrales hidroeléctricas reversibles una de las limitaciones es el transporte de agua desde el sitio bombeado hasta un depósito [3].

### II-A. Centrales hidroeléctricas de bombeo

Las centrales de bombeo constan de dos depósitos de agua a distintas alturas, teniendo el depósito superior como reserva de energía. En el depósito superior se almacenará el agua absorbida del depósito inferior mediante un sistema de bombeo. La alimentación del sistema de bombeo para este caso de estudio será un sistema fotovoltaico. Para este caso de estudio en se bombeará el agua durante el día, debido a que será alimentado a través de un sistema fotovoltaico. Los principales elementos son: un embalse de agua, tubería de presión, turbina, sistema de bombeo, generador, entre otros. En la Fig. 1, se visualiza el esquema de la pico central reversible de este caso de estudio.

De acuerdo Cedillo [12], el levantamiento del campus agronómico salesiano tiene una altura desde la bomba al depósito superior de 13 metros, con una distancia de 92 metros aproximadamente entre el depósito inferior y el depósito superior del sistema de bombeo.

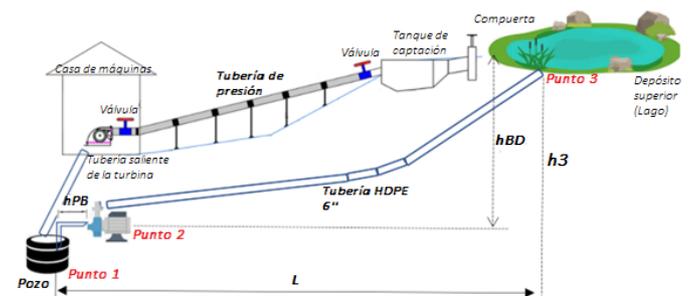


Figura 1. Esquema de la pico central y el sistema de bombeo.

### II-B. Centrales fotovoltaicas

La central fotovoltaica está diseñada para alimentar al sistema de bombeo y para cubrir parte de la demanda de la

Unidad Educativa Agronómico Salesiano Campus Yugmacay, los componentes de este sistema son: paneles solares, inversor y baterías. Según Greenpeace, "La energía solar fotovoltaica podrá suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en 2030" [13].

En este documento se diseñan dos sistemas fotovoltaicos, el primero cubrir una demanda base de 5 kW y el segundo, para energizar el sistema de bombeo hidráulico. Los sistemas planteados se pretenden implementar en la Unidad Educativa Agronómico Salesiano Campus Yugmacay ubicado en Paute, Azuay, Ecuador.

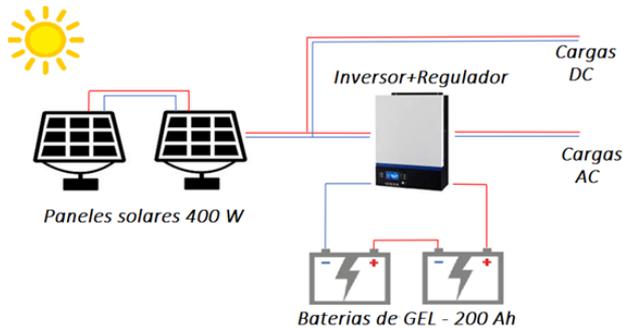


Figura 2. Esquema fotovoltaico para demanda base de 5kW.

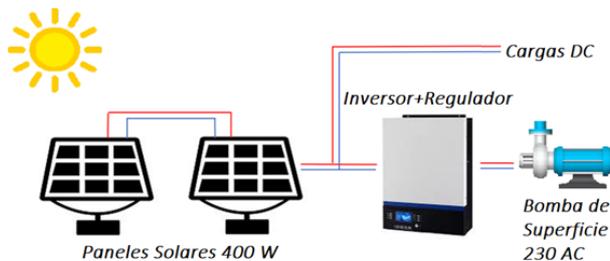


Figura 3. Esquema fotovoltaico para energizar sistema de bombeo.

En la Fig. 2, se presenta el esquema de un sistema fotovoltaico con almacenamiento por baterías y en la Fig. 3, se visualiza un sistema fotovoltaico con almacenamiento a través de un sistema de bombeo.

### III. METODOLOGÍA

#### III-A. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Para dimensionar un sistema solar es necesario conocer principalmente la irradiancia solar, irradiación solar, hora solar pico y la inclinación y orientación de los paneles de acuerdo al lugar donde se emplazarán.

**III-A1. Irradiancia Solar:** La irradiancia solar es aquella que mide la potencia de las radiaciones solares en una área específica en un tiempo específico. Su unidad de medida es la potencia expresada en vatios por unidad de área ( $W/m^2$ ). Existen mayores valores resultantes de irradiancia solar en meses de verano, específicamente a las 12 horas del día [14].

**III-A2. Irradiación Solar:** La irradiación es aquella que mide la energía solar, no es más que la irradiancia solar que recibe una área específica por un periodo tiempo determinado [14]. Su unidad de medida es la energía expresada en vatios-hora por unidad de área ( $Wh/m^2$ ).

**III-A3. Inclinación y orientación:** Según Alvarez [15], a través de distintas metodologías de cálculo, determina el ángulo óptimo en cuenca, Ecuador. A pesar de que el cálculo no es realizado en Paute, el valor resultante de la inclinación y orientación resulta factible para este caso, debido a que la distancia entre las dos ciudades es cercana.



Figura 4. Área del sitio propuesto para la ubicación de los paneles solares

En la Fig. 4, se visualiza el área del sitio propuesto para el montaje de los paneles solares. Dato que se obtuvo de la página web Google Earth Real Time [16].

**III-A4. Hora Solar Pico:** Ventura [17], presenta que el valor que mide la irradiancia solar es conocida como horas solares pico (HSP), se define con un tiempo dado en horas y se da un valor estandarizado de irradiación solar de 1000 ( $W/m^2$ ). Para determinar este valor se usa la siguiente expresión matemática:

$$HSP = \frac{I_{sr}}{1000} \quad (1)$$

|       | Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | Jun  | Jul  | Aug  | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 6-7   |      |      |      | 37   |      |      |      |      | 49   | 53   | 58   |      |
| 7-8   | 179  | 138  | 183  | 194  | 213  | 171  | 190  | 234  | 260  | 252  | 288  | 190  |
| 8-9   | 301  | 235  | 246  | 248  | 249  | 265  | 271  | 283  | 321  | 327  | 395  | 328  |
| 9-10  | 382  | 302  | 298  | 291  | 304  | 310  | 311  | 332  | 365  | 399  | 481  | 393  |
| 10-11 | 432  | 353  | 354  | 339  | 362  | 351  | 351  | 364  | 392  | 451  | 532  | 452  |
| 11-12 | 465  | 380  | 379  | 365  | 402  | 375  | 389  | 379  | 386  | 477  | 550  | 482  |
| 12-13 | 491  | 408  | 392  | 387  | 434  | 396  | 419  | 387  | 386  | 518  | 549  | 503  |
| 13-14 | 494  | 424  | 372  | 390  | 438  | 406  | 407  | 376  | 368  | 464  | 513  | 485  |
| 14-15 | 429  | 341  | 336  | 368  | 443  | 422  | 401  | 365  | 347  | 401  | 437  | 431  |
| 15-16 | 389  | 320  | 312  | 361  | 453  | 443  | 414  | 368  | 347  | 366  | 380  | 382  |
| 16-17 | 349  | 287  | 288  | 255  | 214  | 218  | 301  | 351  | 242  | 248  | 322  | 334  |
| 17-18 | 156  | 129  | 67   |      |      |      |      |      |      |      |      | 75   |
| Sum   | 4067 | 3319 | 3227 | 3236 | 3512 | 3358 | 3453 | 3438 | 3464 | 3956 | 4504 | 4055 |

Figura 5. Valores de irradiación en Paute-Ecuador por horas mes [18].

Se utiliza el criterio del peor mes de irradiación para garantizar que el sistema fotovoltaico será capaz de abastecer energía hasta en la peor época del año, con una dirección del

panel dirigida al norte y con un valor de HSP que se obtuvo de la página web (Global Solar Atlas) [18]. En la Fig. 5, se demuestra que el mes de Marzo, que tiene una irradiación de 3227 ( $Wh/m^2$ ) es el mes con menor valor de irradiación en el año.

**III-A4a. Número de paneles:** Para determinar el número de paneles, Serrano [19] presenta:

$$N_T = \frac{S_F}{P_p} \quad (2)$$

**III-A4b. Número de paneles en serie:** De acuerdo a Serrano [19], Villegas [20] y Ventura [17], el valor del número de paneles en serie se determina con:

$$N_s = \frac{V_s}{V_{max}} \quad (3)$$

**III-A4c. Número de paneles en paralelo:** Para determinar el número de paneles en paralelo, Ventura [17] y Villegas [20] presentan:

$$N_p = \frac{N_T}{N_s} \quad (4)$$

**III-A4d. Energía generada por un sistema fotovoltaico:** Se determina la energía del sistema mediante la demanda del sistema y las HSP:

$$S_F = \frac{E_s}{HSP} (W) \quad (5)$$

### III-B. Niveles de tensión

Debido a los distintos casos a analizar, Ventura [17] y Villegas [20], presentan niveles de tensión que tendrá el sistema de baterías teniendo en cuenta la demanda a generar.

Tabla I  
VOLTAJE DEL SISTEMA SEGÚN POTENCIA

| Potencia (W)             | Voltaje (V)         |
|--------------------------|---------------------|
| $\leq 1000$ W            | 12 V                |
| $1000 < P \leq 4000$ (W) | 12 - 24 V           |
| $P > 4000$ (W)           | 48, 96, 120 o 300 V |

### III-C. Sistema de baterías

Según Villegas [20], el almacenamiento del sistema de determina con:

$$C_{20} = \frac{E_s \cdot D_{aut}}{V_s \cdot P_D} (Ah) \quad (6)$$

**III-C1. Baterías serie y paralelo:** Para determinar el número de baterías, tanto Ventura [17] como Villegas [20] presentan:

**Baterías en serie**

$$B_s = \frac{V_s}{V_{bat}} \quad (7)$$

**Baterías en paralelo**

Se determina el número de baterías en paralelo mediante la capacidad de almacenamiento del sistema:

$$C_{20} = B_p \cdot C_{bat} (Ah) \quad (8)$$

### III-D. Sistema de bombeo

Rehman [21], presenta el esquema básico de operación de una estación de bombeo, explicado en la subsección II-A.

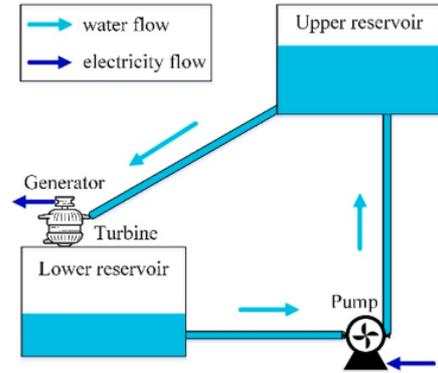


Figura 6. Esquema de una central hidráulica reversible [21].

**III-D1. Dimensionamiento del sistema de bombeo:** Para un correcto dimensionamiento de un sistema de bombeo, se debe tener en cuenta, energía del sistema, potencia de la bomba, pérdidas, entre otras variables.

**III-D2. Energía del sistema de bombeo:** Se requiere saber cuanta energía puede ser almacenada en el depósito superior con los distintos caudales presentados en la Tabla IV. Se considera que el fondo del depósito es ideal, es decir, no contiene deformidades geográficas.

Se determina el volumen de agua mediante el caudal:

$$Q = \frac{V_o}{T_B} \left( \frac{m^3}{s} \right) \quad (9)$$

Seguido, se procede a calcular la masa ( $m$ ), a través del peso específico:

$$\gamma = \frac{m}{V_o} \left( \frac{N}{m^3} \right) \quad (10)$$

Finalmente, para determinar la energía potencial almacenada se usa:

$$E_p = \frac{m \cdot g \cdot h_3}{3600000} (kWh) \quad (11)$$

*III-D2a. Potencia de la bomba:* Se determina la potencia de la bomba mediante:

$$P_b = \frac{Q \cdot g \cdot \rho \cdot h_b}{746 \cdot \eta} (hp) \quad (12)$$

*III-D2b. Cabeza neta de la bomba ( $h_b$ ):* Para determinar la potencia de la bomba, se emplea la ecuación de balance de energía mecánica de fluidos. Expresión matemática conocida como ecuación de Bernoulli [22].

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + \frac{P_1}{\mu} + h_b = h_3 + \frac{V_3^2}{2 \cdot g} + \frac{P_3}{\mu} + hf_{13} \quad (13)$$

Como  $h_1$  es la altura del nivel de referencia su valor se impone como 0 al igual que  $V_1$ , debido a que en un inicio no hay altura de bombeo y por lo tanto la velocidad de un pozo que está llenando constantemente también es 0. La presión tanto del punto 1 como del punto 3 es atmosférica, razón por la cual se eliminan los términos, resultando en:

$$h_b = h_3 + \frac{V_3^2}{2 \cdot g} + hf_{13} (m) \quad (14)$$

Posteriormente se determina la altura del depósito inferior al superior, mediante:

$$h_3 = h_{PB} + h_{BD} (m) \quad (15)$$

*III-D2c. Velocidades:* Posteriormente se determina la velocidad a la que el agua llegará a la entrada del depósito superior, mediante el caudal y el área transversal de la tubería:

$$V_3 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \left( \frac{m}{s} \right) \quad (16)$$

*III-D2d. Pérdidas por fricción:* Para determinar las pérdidas por fricción primarias dentro de la tubería, se usa la ecuación de Darcy-Weisbach [23]:

$$hf_{13} = F \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_3^2}{2 \cdot g} (m) \quad (17)$$

El diámetro a tubería de succión y la de descarga es de 160 (mm) [24]. Las perdidas secundarias consideran accesorios en la tubería de 160 (mm) de diámetro, se presenta:

$$hf_{13} = F \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_3^2}{2 \cdot g} + Ka \cdot \frac{V_3^2}{2 \cdot g} (m) \quad (18)$$

*III-D2e. Coeficiente de fricción:* Se determina el coeficiente de rozamiento o fricción mediante Reynolds [25] y rugosidad relativa:

$$F = \frac{1,325}{(-\ln(\frac{\epsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}))^2} \quad (19)$$

*III-D2f. Coeficiente de Reynolds:* Para determinar el coeficiente de Reynolds [25], se presenta:

$$Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad (20)$$

*III-E. Costo nivelado de energía (LCOE)*

El LCOE, representa el valor de implementar y operar una central a lo largo de su vida útil [26]. Frecuentemente se emplea para evaluar costos de operación energética entre distintas fuentes de energía.

#### IV. DESARROLLO PROPUESTO

Se dimensiona dos sistemas de acumulación, por bombeo hidráulico y mediante baterías para 5 escenarios dependiendo de la energía que genera el caudal a la salida de la pico central. Además, se dimensiona un sistema fotovoltaico para abastecer una demanda energética base de 5 kW .

Tabla II  
CAUDALES

| Casos  | Porcentaje (%) | Caudal (m3/s) |
|--------|----------------|---------------|
| Caso 1 | 100 %          | 0,0103        |
| Caso 2 | 80 %           | 0,00824       |
| Caso 3 | 60 %           | 0,00618       |
| Caso 4 | 40 %           | 0,00412       |
| Caso 5 | 20 %           | 0,00206       |

Reemplazando datos en (15), se tiene:

$$h_3 = 15 (m) \quad (21)$$

Se estiman 3 codos de 45°, 1 codo de 90°, con un acople expansor para la tubería de 6". Se determina el coeficiente de aditamentos con:

$$Ka = Ka_{45} + Ka_{90} + Ka_e \quad (22)$$

$$Ka = 2,4$$

*IV-A. Potencia de la bomba*

Para determinar la potencia de la bomba se reemplazan todos los datos en (12).

Tabla III  
POTENCIA DE LA BOMBA.

| Casos | $V_3$<br>(m/s) | Re       | F     | $hf_{1,3}$<br>(m) | hb<br>(m) | Pb<br>(hp) | Pb<br>(kW) |
|-------|----------------|----------|-------|-------------------|-----------|------------|------------|
| 1     | 0.512          | 81557.01 | 0.038 | 0.325             | 16.61     | 2.81       | 2.099      |
| 2     | 0.41           | 65245.60 | 0.038 | 0.209             | 16.033    | 2.17       | 1.62       |
| 3     | 0.307          | 48934.20 | 0.039 | 0.119             | 15.58     | 1.58       | 1.181      |
| 4     | 0.205          | 32622.80 | 0.039 | 0.054             | 15.26     | 1.033      | 0.771      |
| 5     | 0.102          | 16311.40 | 0.041 | 0.014             | 15.06     | 0.51       | 0.381      |

*IV-B. Energía almacenada*

Se determina la energía almacenada para cada escenario, reemplazando los datos en (5) y en (11).

Tabla IV  
ENERGÍA DIARIA GENERADA.

| Demanda Base (kW) | HSP | Energía generada |
|-------------------|-----|------------------|
| 5                 | 3.2 | 16               |

Tabla V  
ENERGÍA DIARIA ALMACENADA.

| Porcentaje de caudal | Volumen ( $m^3$ ) | Masa (kg) | Altura (m) | Energía almacenada por el sistema de bombeo (kWh) |
|----------------------|-------------------|-----------|------------|---|
| 100 %                | 118.65            | 118656    | 13         | 4.2   |
| 80 %                 | 94.92             | 94920     | 13         | 3.36  |
| 60 %                 | 71.19             | 71190     | 13         | 2.63  |
| 40 %                 | 47.46             | 47460     | 13         | 1.68  |
| 20 %                 | 23.73             | 23730     | 13         | 0.84  |

#### IV-C. Sistema fotovoltaico

En el sistema fotovoltaico diseñado en este trabajo, se emplea un panel de la marca Jinko Solar tipo "Tiger Mono-facial All black", con una potencia de 400 W.

IV-C1. Número de paneles: Se determina el número de paneles solares, utilizando (2), se presenta:

Tabla VI  
NÚMERO DE PANELES SOLARES PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

| Casos | Caudal ( $m^3/s$ ) | Demanda del sistema de bombeo (W) | Potencia del panel (W) | Número de paneles | Número redondeado de paneles |
|-------|--------------------|-----------------------------------|------------------------|-------------------|------------------------------|
| 1     | 0.0103             | 2200                              | 400                    | 5.5               | 6                            |
| 2     | 0.0082             | 1620                              | 400                    | 4.05              | 5                            |
| 3     | 0.0061             | 1181                              | 400                    | 2.95              | 3                            |
| 4     | 0.0041             | 771                               | 400                    | 1.93              | 2                            |
| 5     | 0.0020             | 381                               | 400                    | 0.95              | 1                            |

| Número de paneles demanda base |                                      |                        |                   |                              |
|--------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------|------------------------------|
| Caso                           | Demanda del sistema fotovoltaico (W) | Potencia del panel (W) | Número de paneles | Número redondeado de paneles |
| Base                           | 5000                                 | 400                    | 12.5              | 13                           |

#### IV-D. Número de paneles en serie

Aplicando (3), resulta:

Tabla VII  
NÚMERO DE PANELES EN SERIE.

| Casos          | Potencia (W) | Vs (V) | Vmax (V) | Ns    | Número redondeado de Ns |
|----------------|--------------|--------|----------|-------|-------------------------|
| Base           | 5000         | 48     | 37.39    | 1.283 | 2                       |
| Caso de bombas |              |        |          |       |                         |
| 1              | 2200         | 24     | 37.39    | 0.642 | 1                       |
| 2              | 1620         | 24     | 37.39    | 0.642 | 1                       |
| 3              | 1181         | 24     | 37.39    | 0.642 | 1                       |
| 4              | 771          | 12     | 37.39    | 0.321 | 1                       |
| 4              | 381          | 12     | 37.39    | 0.321 | 1                       |

#### IV-E. Arreglo de paneles

De acuerdo a la Tabla IV-D y (8), se presenta el arreglo de los paneles solares:

Tabla VIII  
ARREGLO DE PANELES SOLARES

| Casos          | Arreglo de paneles | Total de paneles |
|----------------|--------------------|------------------|
| Base           | 2x7                | 14               |
| Caso de bombas |                    |                  |
| 1              | 1x6                | 6                |
| 2              | 1x5                | 5                |
| 3              | 1x3                | 3                |
| 4              | 1x2                | 2                |
| 5              | 1x1                | 1                |

#### IV-F. Sistema de baterías

Aplicando los datos de energía de la Tabla IV-B, se presenta los datos de capacidad de almacenamiento. Tanto para el caso base de 5 (kW) como para cada uno de los casos del sistema de bombeo, la batería seleccionada es tipo GEL de 12 V a 200 Ah.

Tabla IX  
CAPACIDAD DEL ALMACENAMIENTO DEL SISTEMA DE BATERÍAS

| Voltaje (V)       | Energía Diaria (kWh) | Villegas Capacidad de almacenamiento $C_{20}$ (Ah) |
|-------------------|----------------------|--|
| Caso Base         |                      |  |
| 48                | 16                   | 1428.5   |
| Caso Bombas       |                      |  |
| Caso 1, 2 y 3 (V) |                      |  |
| 24                | 4.2                  | 750.6  |
| 24                | 3.36                 | 600.45   |
| 24                | 2.63                 | 469.31   |
| Caso 4 y 5 (V)    |                      |  |
| 12                | 1.68                 | 600.45   |
| 12                | 0.84                 | 300.22   |

IV-F1. Arreglo de Baterías: Aplicando (7) para determinar las baterías en serie y (8) para conocer las baterías en paralelo, se presenta:

Tabla X  
ARREGLO DEL SISTEMA BATERÍAS

| Casos          | $B_s$ | $B_p$ | Número total de baterías | Arreglo de baterías |
|----------------|-------|-------|--------------------------|---------------------|
| Base           | 4     | 8     | 32                       | 4x8                 |
| Caso de bombas |       |       |                          |                     |
| 1              | 2     | 4     | 8                        | 2x4                 |
| 2              | 2     | 3     | 6                        | 2x3                 |
| 3              | 2     | 3     | 6                        | 2x3                 |
| 4              | 1     | 3     | 3                        | 1x3                 |
| 5              | 1     | 2     | 2                        | 1x2                 |

## V. RESULTADOS

En la Tabla IV-A, se visualiza las distintas potencias de bombas dependiendo del caudal, teniendo como potencia mayor una de 2.1 kW, con un caudal del 100%. Castillo [27], utiliza el diagrama de Moody para determinar el coeficiente de fricción, a través de dicho diagrama se corrobora  $F$ . Los costos nivelados de energía para cada uno de los métodos

de almacenamiento son indispensables, debido a que junto con el análisis económico determinarán si el método es el adecuado para la implementación.

Tabla XI  
LCOE DEL SISTEMA DE BATERÍAS

| Casos              | Energía diaria (kWh) | Energía anual (kWh) | Energía a 20 años (kWh) | Costo del proyecto 20 años (\$) | LCOE (\$/kWh) |
|--------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------|
| Caso Base          | 16                   | 5840                | 116800                  | 42853.2                         | 0.36          |
| <b>CASO BOMBAS</b> |                      |                     |                         |                                 |               |
| 1                  | 4.2                  | 1533                | 30660                   | 11596.40                        | 0.37          |
| 2                  | 3.36                 | 1227.32             | 24546.55                | 9041.2                          | 0.36          |
| 3                  | 2.63                 | 959.28              | 19185.72                | 8191.6                          | 0.42          |
| 4                  | 1.68                 | 613.66              | 12273.27                | 4241.8                          | 0.34          |
| 5                  | 0.84                 | 306.83              | 6136.63                 | 2751.8                          | 0.44          |

Tabla XII  
LCOE DEL SISTEMA DE BOMBEO HIDRÁULICO

| Casos | Energía diaria (kWh) | Energía anual (kWh) | Energía a 20 años (kWh) | Costo del proyecto 20 años (\$) | LCOE (\$/kWh) |
|-------|----------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------|
| 1     | 4.2                  | 1533                | 30660                   | 10216.4                         | 0.33          |
| 2     | 3.36                 | 1227.32             | 24546.55                | 9795.2                          | 0.39          |
| 3     | 2.63                 | 959.28              | 19185.72                | 8469.8                          | 0.44          |
| 4     | 1.68                 | 613.66              | 12273.27                | 7207.92                         | 0.58          |
| 5     | 0.84                 | 306.83              | 6136.63                 | 6786.72                         | 1.106         |

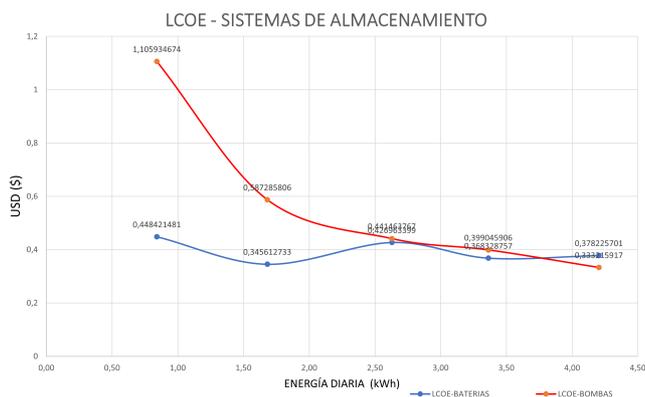


Figura 7. Curvas del costo nivelado de energía para los sistemas de almacenamiento.

Los costos nivelados de energía del sistema de baterías presentados en la Fig. 7, tienen un comportamiento oscilatorio, debido a que en el punto 3 con un caudal del 60 %, los costos de baterías resultan iguales que los costos del caso 2 con un caudal del 80 %. La diferencia radica en que en

el punto 2 la energía a generar es mayor. Los LCOE en el sistema de bombeo hidráulico es decreciente, debido a que entre mayor energía produzca el sistema, menor será el costo del kWh. El LCOE de los métodos de almacenamiento de energía dependen principalmente de sus costos iniciales y de la producción de energía durante la vida útil del proyecto. Los costos iniciales de almacenamiento de energía por medio del sistema de baterías y del bombeo hidráulico incorporan costos de transporte, mano de obra, entre otros.

Tabla XIII  
COSTOS DE LOS SISTEMAS DE BATERÍAS DE GEL

| Casos | Costo (\$) | Varios (\$) | Costo Baterías-Inversor Cada 10 años (\$) | Precio Final (\$) |
|-------|------------|-------------|---|-------------------|
| Base  | 20401      | 5760.2      | 16692                                     | 42853.2           |
| 1     | 6097       | 1939.4      | 3560                                      | 11596.4           |
| 2     | 4871       | 1574.2      | 2596                                      | 9041.2            |
| 3     | 4363       | 1232.6      | 2596                                      | 8191.6            |
| 4     | 2284       | 696.8       | 1261                                      | 4241.8            |
| 5     | 1544       | 428.8       | 779                                       | 2751.8            |

Tabla XIV  
COSTOS PARA LOS SISTEMAS DE BOMBEO

| Casos | Costo (\$) | Varios (\$) | Costo de inversor cada 10 años (\$) | Precio Final (\$) |
|-------|------------|-------------|-------------------------------------|-------------------|
| 1     | 7354       | 2191.4      | 668                                 | 9548.4            |
| 2     | 7106       | 2021.2      | 668                                 | 9127.2            |
| 3     | 6201.5     | 1600.3      | 668                                 | 7801.8            |
| 4     | 5559.1     | 1351.82     | 297                                 | 6910.9            |
| 5     | 5308.1     | 1181.62     | 297                                 | 6489.72           |

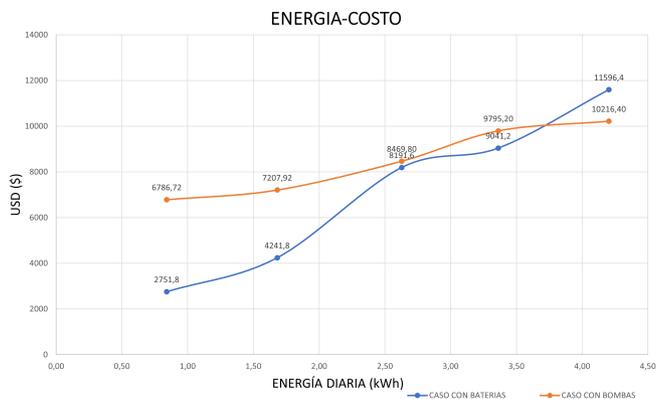


Figura 8. Inversión inicial de cada sistema de almacenamiento versus energía acumulada diaria.

En la Fig. 8, se visualiza que para el almacenamiento de energía desde 0.84 (kWh) a 2.63 (kWh), en esos casos

los costos de las bombas presentados en la Tabla XIV, inicialmente son mayores comparado con el los costos del sistema de baterías. Posteriormente los costos son relativamente similares hasta un almacenamiento de 4.2 (kWh) con un caudal del 100 %, punto el cual el costo del sistema de baterías presentados en la Tabla XIII, es superior al del bombeo hidráulico.

Tabla XV  
ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS SISTEMAS DE BATERÍAS DE GEL

| Casos                 | VAN      | TIR     |         |         |         | Año de recu |
|-----------------------|----------|---------|---------|---------|---------|-------------|
|                       |          | 5 Años  | 10 Años | 15 Años | 20 Años |             |
| <b>Base</b>           | -7556.06 | -25.3 % | 0.2 %   | 7.4 %   | 10.6 %  | 13          |
| <b>CASO DE BOMBAS</b> |          |         |         |         |         |             |
| <b>1</b>              | -1188.9  | -25.3 % | 0.2 %   | 7.4 %   | 10.6 %  | 11          |
| <b>2</b>              | -926.93  | -25.3 % | 0.2 %   | 7.4 %   | 10.6 %  | 11          |
| <b>3</b>              | -839.83  | -25.3 % | 0.2 %   | 7.4 %   | 10.6 %  | 11          |
| <b>4</b>              | -434.88  | -25.3 % | 0.2 %   | 7.4 %   | 10.6 %  | 11          |
| <b>5</b>              | -282.1   | -25.3 % | 0.2 %   | 7.4 %   | 10.6 %  | 11          |

Tabla XVI  
ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LOS SISTEMAS DE BOMBEO

| Casos                 | VAN    | TIR      |         |         |         | Año de recu |
|-----------------------|--------|----------|---------|---------|---------|-------------|
|                       |        | 5 Años   | 10 Años | 15 Años | 20 Años |             |
| <b>CASO DE BOMBAS</b> |        |          |         |         |         |             |
| <b>1</b>              | 9908.7 | -14,30 % | 11.41 % | 18.14 % | 20.49 % | 7           |
| <b>2</b>              | 9500.2 | -14,30 % | 11.41 % | 18.14 % | 20.49 % | 7           |
| <b>3</b>              | 8214.7 | -14,30 % | 11.41 % | 18.14 % | 20.49 % | 7           |
| <b>4</b>              | 6990.8 | -14,30 % | 11.41 % | 18.14 % | 20.49 % | 7           |
| <b>5</b>              | 6582.3 | -14,30 % | 11.41 % | 18.14 % | 20.49 % | 7           |

Con el análisis económico se determina la rentabilidad del proyecto a incorporar, razón por la cual en la Tabla V, se visualiza que los valores del VAN resultan negativos, significando que el proyecto no será económicamente posible. Mientras que los resultados de la TIR reflejan que el proyecto no es rentable durante los 5 primeros años y un 11 % viable en toda la vida útil del proyecto.

En el análisis económico de almacenamiento de energía mediante el sistema de bombeo hidráulico presentado en la Tabla V, refleja que el proyecto es rentable. El VAN resulta positivo, reflejando que el proyecto es viable económicamente. Mientras que durante los 5 primeros años del proyecto, se obtiene un -14.3 % de valor en la TIR. Sin embargo, a lo largo de la vida útil del sistema de bombeo, la TIR es del 21 % aproximadamente.

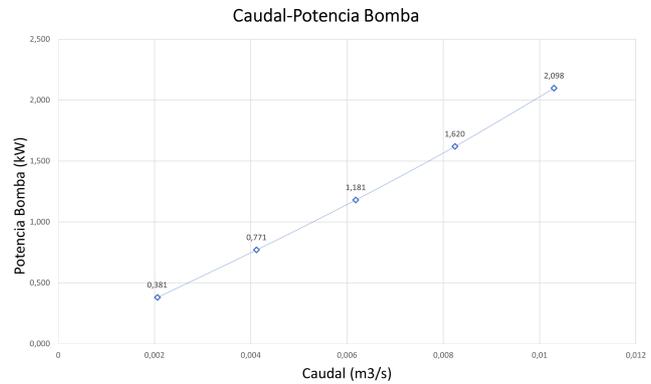


Figura 9. Dimensionamiento de la potencia de la bomba con respecto al caudal.

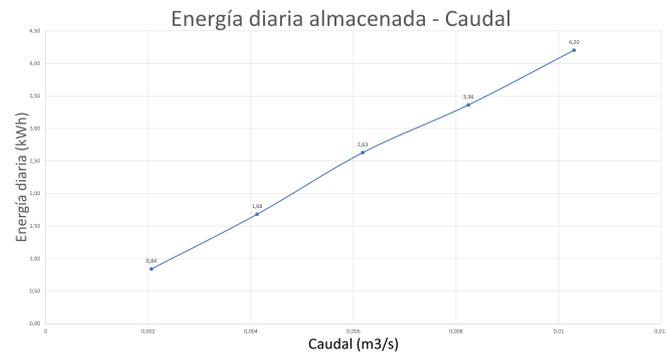


Figura 10. Dimensionamiento de la energía potencial almacenada con respecto al caudal.

En la Fig. 9, se presenta la curva de la potencia de la bomba dependiendo del caudal. Se visualiza que mientras más grande sea el caudal a manera, mayor será la potencia de la bomba. De igual forma, en la Fig. 10, la curva del dimensionamiento de la energía potencial almacenada del sistema de bombeo, tiende a ser mayor mientras el caudal a trabajar sea mayor.

## VI. CONCLUSIONES

El almacenamiento de energía en los sistemas híbridos es un tema importante. Por lo tanto, en la comparación de dos sistemas de almacenamiento: por medio de un sistema de baterías y por bombeo hidroeléctrico, se deduce que el sistema de bombeo hidráulico es el más adecuado económicamente a corto, medio y largo plazo para la implementación. Mediante la Tabla V, se tiene pérdidas económicas en el sistema de baterías de GEL reflejadas en el VAN. Esto ocurre principalmente debido a que cada 10 años las baterías de GEL son cambiadas al igual que los inversores. La Tabla V, presenta los valores resultantes del análisis económico del sistema de almacenamiento de energía mediante el bombeo hidráulico. Resultando rentable implementar este método de almacenamiento, debido a que los valores del VAN son positivos, reflejando que este sistema es adecuado económicamente y durante toda la vida útil del proyecto la TIR es del 21 %. Es indispensable argumentar un proyecto con métricas de evaluación como el VAN y la TIR, debido a que establecerán la rentabilidad del proyecto a lo

largo de su vida útil. Representar gráficamente los resultados conlleva a una mejor comprensión para desarrollar un análisis.

## REFERENCIAS

- [1] D. P. Ávila, "Análisis del potencial eólico y solar para la implementación de un sistema híbrido de generación eléctrica ubicadas en una comunidad rural oriental de la provincia de Zamora Chinchipe," *Polo del Conocimiento*, Diciembre 2021.
- [2] C. Herrera, "Sistema híbrido eólico-fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el departamento de turismo del ilustre municipio de baños de aguasanta," *Universidad Politécnica de Ambato*, Oct. 2011.
- [3] F. Poza Saura, "Contribución al diseño de procedimientos de control de calidad para sistemas de bombeo fotovoltaico." Ph.D. dissertation, Universidad Politécnica de Madrid, 2007.
- [4] H. M. Al-Masri, S. K. Magableh, A. Abuelrub, and K. Alzaareer, "Realistic coordination and sizing of a solar array combined with pumped hydro storage system," *Journal of Energy Storage*, vol. 41, p. 102915, 2021.
- [5] A. Beltrán, "Design and calculation of a hybrid solar-hydraulic power station in gran canaria," *SciELO*, 2018.
- [6] Z. Glasnovic, K. Margeta, and V. Omerbegovic, "Artificial water inflow created by solar energy for continuous green energy production," *Water Resources Management*, vol. 27, no. 7, pp. 2303–2323, May 2013.
- [7] G. A. Sweeka Meshram and S. Gupta, "Performance analysis of grid integrated hydro and solar based hybrid systems," *Advances in Power Electronics*, 2013.
- [8] M. Melikoglu, "Pumped hydroelectric energy storage: Analysing global development and assessing potential applications in turkey based on vision 2023 hydroelectricity wind and solar energy targets," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72, pp. 146–153, 5 2017.
- [9] J. Durin, B Margeta, "A new concept for using solar photovoltaic energy in urban water supply systems." *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 2017.
- [10] E. R. L. Juan Esteban Martínez-Jaramillo, Ann van Ackere, "Towards a solar-hydro based generation: The case of Switzerland," *Energy Policy*, vol. 138, p. 111197, 3 2020.
- [11] S. de Estado de Energía, *Estrategia de almacenamiento energético*, M. para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), Ed. Gobierno de España, Feb. 2021.
- [12] C. M. Cedillo, "Levantamiento campus agronomía," *Universidad Politécnica Salesiana*, Jun. 2021.
- [13] E. R. Washinton Macancela, "Análisis técnico de una central solar para una producción de energía eléctrica en el cantón Santa Isabel en la provincia del Azuay," *Universidad Politécnica Salesiana*, Jun. 2012.
- [14] F. de Jesús Acevedo Garcés, "Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios," *Universidad Nacional Abierta y a Distancia José Acevedo y Gómez escuela de ciencias básicas, tecnología e ingeniería tecnología en electrónica*, 2016.
- [15] D. A. A. Lozano, "Evaluación de la orientación y el ángulo de inclinación óptimo de una superficie plana para maximizar la captación de irradiación solar en Cuenca-Ecuador," *Universidad Politécnica Salesiana*, 2017.
- [16] Google, "Detección del área estipulada para implementación de módulos solares en la zona de Paute, Ecuador," *Google Earth Real Time*, 2022.
- [17] A. V. Vargas, "Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para la demanda eléctrica de la posta médica, centro poblado Urakusa provincia Condorcanqui, Amazonas-Perú," *Universidad Nacional de Jaén*, p. 64, Jun. 2020.
- [18] G. S. ATLAS, "Detección de la irradiación en la zona de Paute, Ecuador," *Global Atlas Solar*, 2022.
- [19] M. S. Hernandez, "Dimensionado de sistemas fotovoltaicos aislados," *ResearchGate*, p. 13, Jan. 2018.
- [20] E. S. V. Tapia, "Diseño de un sistema fotovoltaico para la escuela de educación básica Simón Bolívar en la comunidad Masa 2, Golfo de Guayaquil," *Universidad Politécnica Salesiana*, p. 128, Oct. 2020.
- [21] S. Rehman, "Pumped hydro energy storage system: A technological review," *Elsevier*, p. 13, 2015.
- [22] P. González, "Historia del teorema de Bernoulli," *Acta Universitaria*, abril 2007.
- [23] E. Moreno, "Darcy-Weisbach resistance coefficient determination using Newton-Raphson approach for Android 4.0," *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, Feb. 2019.
- [24] G. Medina, "Diseño y análisis para la implementación de un sistema de pico aprovechamiento en generación hidroeléctrica," *Universidad Politécnica Salesiana*, p. 112, 2021.
- [25] J. Díaz, "Número de Reynolds," *Corporación Universitaria Minuto de Dios*, 2015.
- [26] Salazar, "Análisis técnico y económico de la implementación del net metering para diferentes tipos de consumidores de electricidad en el Ecuador," *Energía*, 2021.
- [27] J. Castillo, "Diseño de una red neuronal para la predicción del coeficiente de pérdidas primarias en régimen de flujo turbulento," *Ingenious*, may 2018.



**Josué Calle** nació el 22 de diciembre de 1999 en la ciudad de Cuenca provincia del Azuay, estudio en la Escuela Fiscal Carlos Crespi, continuo con sus estudios en la Unidad Educativa Técnico Salesiano, actualmente es estudiante de la carrera de Electricidad de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Miembro IEEE desde el 2019 pertenece al Capítulo Técnico Power & Energy Society (PES), ex-secretario de dicho grupo. Cuenta con varias certificaciones dentro del ámbito eléctrico, entre las cuales destacan: diseño de transformadores de potencia, prevención de riesgos eléctricos, montaje de subestaciones, entre otros. Persona con proyecciones y grandes ambiciones en la vida.



**Ing. Natalia Gonzalez** Natalia Ximena González Alvarez nació el 04 de diciembre de 1985 en la ciudad de Santo Domingo de los Colorados, obtuvo su título de Ingeniero Electrónico en la Universidad Politécnica Salesiana-Sede Cuenca en el año 2011. En el año 2016 obtiene el título de Máster en Administración de la Energía y sus Fuentes Renovables otorgado por el Tecnológico de Monterrey y en el año 2017 obtiene el título de Master en Métodos Matemáticos y Simulación Numérica en Ingeniería otorgado por la Universidad Politécnica Salesiana.