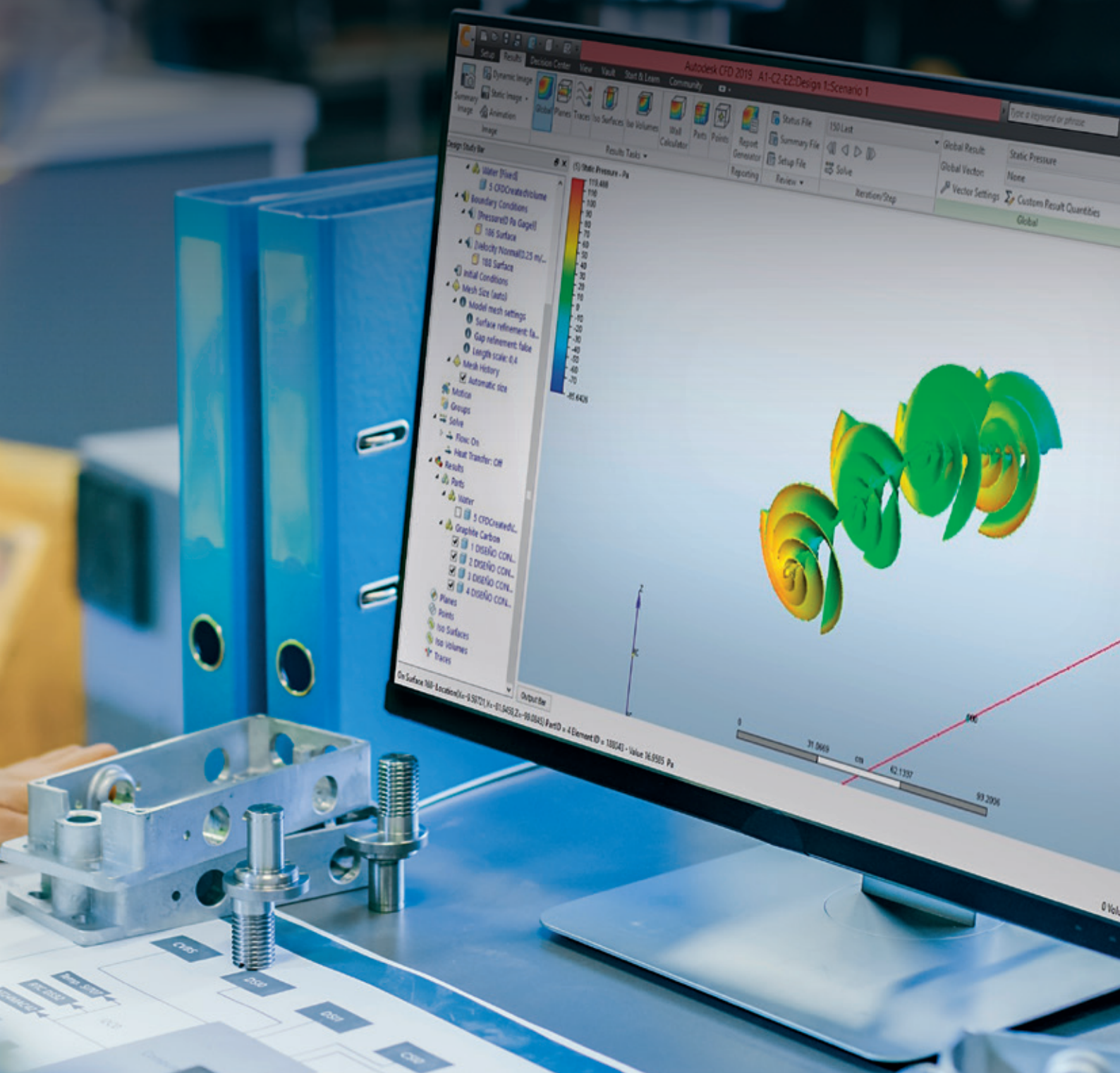


El diseño está basado en el lirio de agua como unidad natural de imitación, debido a que esta flor permite que entre sus espadas el agua pueda pasar de una manera más adecuada.



Diseño de una turbina hidráulica con tecnología biomimética

Design of a Hydraulic Turbine with Biomimetic Technology

RESUMEN

En la actualidad, la falta de energía eléctrica en lugares aislados o zonas rurales generan incomodidad en sus habitantes tanto como en el aspecto social, económico y académico; por otra parte, es conocido que la dirección en la que está enmarcada las fuentes generadoras futuras serán las centrales eléctricas del tipo renovable por sus diversas ventajas, es así que los diseñadores de nuevas tecnologías están encaminados en encontrar formas adecuadas de diseño que mejoren la capacidad de los elementos y que puedan ser aprovechados en baja escala, una de estas formas está basado en la ciencia de la biomimética.

Esta investigación tiene como objetivo diseñar y evaluar una propuesta de turbina hidráulica para determinar los factores que influyen en la generación hidroeléctrica en situaciones donde el caudal es, como mínimo, $4\text{m}^3/\text{s}$, así como analizar la respuesta del sistema cuando es sometido a un análisis computacional de fluidos.

La metodología del diseño está basada en la tecnología biomimética, cuya ciencia trata de emular elementos naturales como inspiración de diseño, así como la evaluación de la investigación al aplicar el diseño experimental de factorial « 2^3 », el cual permite elegir una combinación adecuada de los factores encontrados para este tipo de turbina.

De los resultados obtenidos, se propone un método para construir y evaluar diseños virtuales basados en tecnología biomimética, desarrollando un prototipo eficiente, económico y adecuado a las características del lugar. Se logró diseñar el primer tipo de ábabe basado en la flor «lirio de agua», como unidad natural de imitación, cuyo diseño planteado es adecuado para generación eléctrica porque permite a través de la ciencia de la biosimbiosis obtener un diseño extraído de la naturaleza e imitarlo.

ABSTRACT

Nowadays, the lack of electrical energy in isolated places or rural areas generates discomfort in its inhabitants as much as in the social, economic and academic aspects; by the other hand, it is known that the direction in which the future generating sources are frame will be the renewable type power plants, due to their diverse advantages. It is thus that the designers of new technologies are aimed at finding suitable forms of design that improve the capacity of the elements and that can be used on a small scale; one of these forms is based on the science of biomimetics.

The objective of this research is to design and evaluate a proposal for a hydraulic turbine to determine the factors that influence hydroelectric generation in situations where the flow is at least $4\text{m}^3/\text{s}$, as well as to analyze the response of the system when subjected to computational analysis of fluids.

The design methodology is based on biomimetic technology; this science tries to emulate natural elements as design inspiration, as well as the evaluation of the research by applying the experimental design of factorial “ 2^3 ”, which allows choosing an adequate combination of the factors found for this type of turbine.

From the results obtained, a method is proposed to construct and evaluate virtual designs based on biomimetic technology, developing an efficient prototype, economic and appropriate to the characteristics of the place. It was possible to design the first type of blade based on the flower “water lily”, as a natural imitation unit, whose proposed design is suitable for electricity generation because it allows, through the science of biomimetics, to obtain a design extracted from nature and imitate it.



Palabras claves

Biomimética, turbina, generación hidráulica, energía renovable, análisis computacional fluido-dinámico.

Key words

Biomimicry, turbine, hydraulic generation, renewable energy, computational fluid dynamics.

INTRODUCCIÓN

Los principales motivos para realizar proyectos de generación eléctrica a través de recursos renovables son los siguientes: 1) ambiental, los cuales generan un bajo impacto negativo; 2) económico, cuyas fuentes generadoras clásicas en contraste con las térmicas tienen la ventaja de ser más económicas en construcción, pero al momento de generación, son las que tienen más alto costo por producción, sin olvidar que al quemar combustibles fósiles provocan un alto nivel de contaminación.

De acuerdo con el informe 2013 de *World Wildlife Found* (WWF) citado en Tarabochia, llamado *Mythbusters*, acabando con los mitos sobre energías renovables: «cuadruplicar el consumo actual de energía renovable para el año 2035 (en el mundo) podría evitar hasta el 23 % de la reducción de las emisiones de CO₂» [10].

En la figura 1, se visualiza el consumo de energía para el 2017 en sus diferentes formas: el consumo de gas llegó alrededor de 10 cuatrillones de unidad térmica británica (BTU), el petróleo cerca de los 6 cuatrillones de BTU, la energía eléctrica cerca de 3 cuatrillones de BTU y la energía renovable tiene un consumo de apenas 2 cuatrillones.

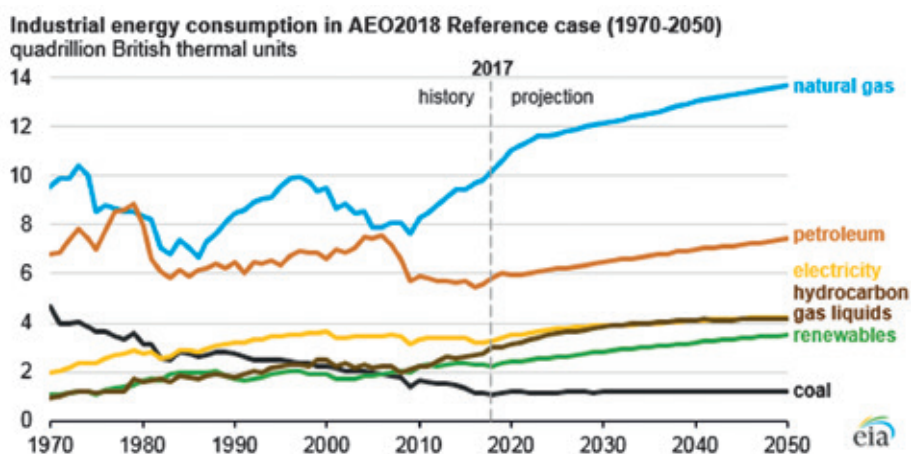


Figura 1. Consumo industrial de energías.
Fuente: [3] www.eia.gov

El índice de electrificación en América Latina llega a ser bajo, aunque estamos en épocas donde la tecnología es uno de los principales desarrollos que la mayoría de países conocen y poseen. Las zonas rurales de este continente concentran el 78 % de personas que no disponen de electricidad y el 66 % de aquellas que no tienen acceso a la electricidad ni al gas [8].

De esta manera, se puede demostrar que no solo el Perú necesita inversión de electrificación para las zonas rurales, varios países de Latinoamérica también tienen este problema. Se puede juzgar como causa a la falta de este servicio, así como múltiples factores; pero lo más importante es crear soluciones adecuadas, factibles, eficientes y de bajo costo. Entrar en discusiones sobre qué personajes son los responsables de esta carencia estaría por demás, en lo que se deben enfocar los investigadores es encontrar soluciones necesarias que permitan disminuir la brecha y la falta de energía eléctrica.

De acuerdo con la agencia financiera internacional de evaluación de riesgo, *Moody's*, las energías renovables no convencionales serán la clave para impulsar el crecimiento económico en Latinoamérica [6].

La anterior información nos indica que se puede incrementar el nivel económico de los países a través de generación energías renovables. Perú tiene una matriz energética amplia, pero la generación con recursos energéticos renovables (RER) no llega al 5 %. Por otra parte, nuestro país tiene un pequeño porcentaje de plantas de generación en reserva que pueden ser usados

cuando existan problemas de desabastecimiento de energía, pero estas centrales son de tipo térmicas, y se utilizan cuando existen contingencias en la transmisión e incrementa el costo de facturación de los usuarios.

Los países con gran potencial hidráulico obtienen la mayor parte de la electricidad, desde centrales hidráulicas por sus grandes ventajas [2].

Debido a que la central energética para producción de energía se basa en el aprovechamiento de recursos energéticos renovables, por ese motivo, se debe impulsar el desarrollo de centrales de ese tipo.

En esta investigación, se desarrolla un diseño y se evalúa el sistema a través de un análisis computacional fluido dinámico (CFD), lo que ayuda a evaluar las características básicas que debe poseer un diseño adecuado. Para Gaitán, [5] en su investigación de validación del comportamiento de un rotor biomimético mediante un modelo supervisado en CFD, las características necesarias para realizar un diseño adecuado son 1) lograr un mallado adecuado para que el análisis sea el más óptimo, 2) desarrollar un modelo matemático de modelamiento de la turbina, y 3) evaluar ecuaciones hidráulicas para obtener resultados coherentes, los cuales son necesarios para la investigación, ya que la turbina fue elaborada mediante este método, el cual contribuyó a reducir tiempo en el diseño.

FUNDAMENTOS

Biomimética

Esta ciencia tiene una cualidad general que consiste en realizar un proceso que comienza a remodelar y eliminar el material que es innecesario, para así formular un sistema estructural completamente optimizado. Según Benyus, la biomimética o biosimbiosis (Biomimicry) es una innovación inspirada en la naturaleza, es el proceso de mirar un elemento natural y tratar de diseñar la mejor adaptación de este elemento [1].

Niveles de biomimética

A) Forma

Es la imitación de los rasgos formales de los seres vivos. Estos rasgos están supeditados a una o varias funciones específicas. Por ejemplo, generar formas que se asemejen a los dientes del tiburón para cortar objetos con el menor esfuerzo posible. Este nivel de materialización es inicial porque puede o no conllevar sostenibilidad [9].

B) Proceso

Este nivel involucra todo lo relativo a los procesos naturales y cómo se pueden reproducir en un diseño o tecnología. Por ejemplo, los dientes de tiburón se restituyen de manera sistemática y sincrónica, sin derroche de ningún tipo de elemento o energía. En este nivel, la sostenibilidad es parte integrar el resultado [9].

C) Sistema

Esta fase implica la integración de las partes en el todo, representa el cómo nuestros productos son ingredientes de un sistema amplio y complejo, donde se interrelacionan de manera orgánica. El tiburón forma parte de una cadena alimenticia que a su vez se integra en un ecosistema que forma parte de un ambiente, donde se alimenta, respira, reproduce, muere, descompone y da paso a otros procesos dentro de esa misma dinámica. Esto es precisamente lo que define si un producto es parte o no de un sistema. Si un producto, en su ciclo de vida, interrumpe algún proceso dentro del sistema, no se puede considerar sostenible [9].

Productos de innovación tecnológica

A) Reflectores de luz

El diseño de este invento fue a través del análisis de la función de la característica esencial del ser vivo (el reflejo de la luz cuando se proyecta un poco sobre los ojos de los gatos) y usándolo para sistemas únicos (carreteras oscuras). Desarrollar un proyecto eficiente, a causa de que la instalación de estos sistemas, es esencial en carreteras de tramo largo, y que no tengan una iluminación adecuada.

B) Ropa termorreguladora

El diseño termorregulador fue diseñado a través de la observación de los conos de pino, el cual, cuando estos elementos se encuentran cerca de una fuente de calor, los pétalos se abren permitiendo que el calor incida también en la parte interna del cono; y cuando hay una disminución de la temperatura cerca del ambiente del cono de pino, este se cierra, permitiendo que el núcleo del pino no sufra los estragos del ambiente.

C) Tren bala japonés

Este diseño fue adaptado por la capacidad que tiene el pájaro martín pescador para entrar en el agua y pescar su comida. Esta forma en la parte frontal del tren bala permite viajar a alta velocidad, evitando que la fricción producida por la alta velocidad dañe el tren y que se desplace sin que se reduzca la velocidad.

D) Turbina de viento

La forma ala de la ballena permite a la ballena ir a una velocidad mayor para alimentarse; en cada brazada que da, se desliza en forma óptima disminuyendo la resistencia y aumentando el flujo dinámico. Adaptar este diseño a tecnología de las hélices de las turbinas eólicas puede funcionar a bajas velocidades.

METODOLOGÍA

Diseño biomimético

La metodología como diseño biomimético aborda etapas las que se puede diferenciar las características esenciales de cada factor para un diseño adecuado.

A) Identificar

Se observaron diferentes elementos naturales, cuyas capacidades funcionales se adaptan mejor a un ambiente acuático, y de los cuales se obtuvieron los siguientes datos: el área de contacto de sus elementos, la forma que poseía, la composición y la cantidad de sus partes. Los elementos que poseían estas características eran la rosa y el lirio de agua.

B) Interpretar

Se analizaron las partes de los elementos naturales en contacto con el agua, diseñándose esas partes a fin de conseguir la cantidad necesaria de agua para su crecimiento evitando excesos. La característica resaltante fue, que la hoja se extendía muy ancha al comienzo y cónica a la distancia de su eje, teniendo menor área en la parte más baja del pétalo.

C) Descubrir

Los elementos que poseían estas características eran la rosa y el lirio de agua. Se encontraron algunas diferencias entre estos elementos, la primera era que la forma de los pétalos del lirio de agua es más abierta al principio, en cambio, la rosa los tiene más cerca a sus pistilos, por lo que, comparando en una turbina, no era adecuado usar como emulación esta forma. Y la segunda, la rosa tiene una gran cantidad de pétalos, además de que la forma en que se va desarrollando esta no permite el paso de agua, todo lo contrario sucede en el lirio de agua.

D) Resumir

Las partes de los elementos que se identificaron para adaptar, poseen disposiciones geométricas resaltantes; por ejemplo, la disposición de los pétalos de la rosa está determinada por una progresión geométrica descrita como la sucesión de Fibonacci. Se considera que esta característica es una forma interesante de diseño natural, ya que muchos elementos tienen esta cualidad de crecimiento, tal como se aprecia en figura 2.

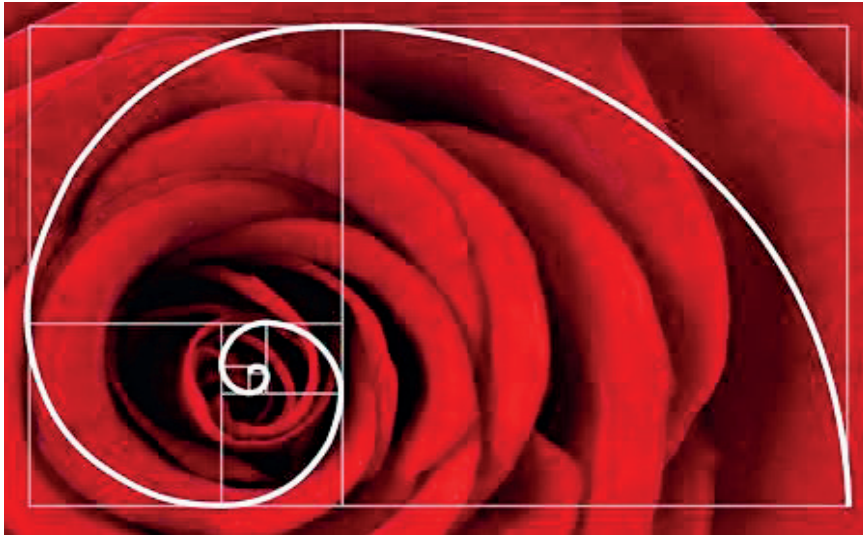


Figura 2. Ilustración de la disposición en espiral en la naturaleza. Patrón de Fibonacci.
Fuente: [4] es.123rf.com

E) Emular

Esta etapa corresponde diferenciar factores para el diseño adecuado de la turbina, por tal motivo, se describió el diseño se estaría basada en la variación de cantidad de alabes, cantidad de campanas y el tipo de eje.

F) Evaluar

Después de la evaluación de las diferentes turbinas, a través del diseño experimental 2^3 , se pudo encontrar cualidades funcionales diferentes en cada tipo de turbina. Los más resaltantes fueron el tipo de eje y de cantidad de alabes. En comparación con la naturaleza del elemento, se adaptó a la capacidad de sus pétalos a recibir la mayor cantidad de fluido. Se considera que este tipo de turbina es óptima para bajos caudales, debido a los resultados obtenidos en la simulación, aunque también se encontró indicios de que este tipo de turbina también es adecuada para altas velocidades de afluentes hídricos.

Evaluación para el diseño

Para la evaluación del prototipo de turbina diseñado, se utilizó un *software* de simulación CFD Autodesk, que permita configurar características necesarias para la simulación. Las turbinas se desarrollaron mediante el método sistémico, en el cual se consideraron los factores que intervendrían directamente con la capacidad de generación de la turbina. Este método permite configurar elementos del sistema que no se podría dejar de lado en la investigación. Los tres elementos fundamentales de la turbina son: alabe, campana y eje.

Se consideró que los datos de entrada y salida son relevantes para lograr una adecuada investigación. Entonces, en la simulación se tomó en cuenta el material, las condiciones de frontera, la velocidad del fluido, la presión en las fronteras, la forma del fluido y el tipo de mallado, como datos de entrada. Asimismo, los datos de salida considerados fueron los siguientes: la fuerza y la presión en la turbina, los cuales son ingresados en el *software*.

Diseño factorial 2^3

Para evaluar el diseño, se realizó al objeto de estudio pruebas experimentales a las combinaciones de los factores para la posible turbina. En un primer instante, se diseñó la hélice que es el elemento principal de cualquier turbina, con base a la metodología biomimética. Después, con el diseño de las ocho turbinas, se pasó a evaluar, mediante el diseño de solución, el mejor diseño de turbina, como se aprecia en la tabla 1. La variable dependiente de la investigación es la energía eléctrica. Esta dimensión se puede hallar encontrando el torque que tiene cada turbina, para el diseño factorial; como variable independiente, las dimensiones de la configuración de la turbina fueron la cantidad de alabes: A1:3 y A2:4, cantidad de campanas: C1:3 y C2:4 y tipo de eje E1: Estático E2: Biomimético.

RESULTADOS

Basado en el diseño en espiral para una construcción biomimética, el primer paso es identificar. Se encontró que la unidad básica para realizar el diseño será la estructura fisionómica del lirio de agua, cuyo nombre científico es *Zantedeschia aethiopica*. Según el gobierno regional de Junín, las dimensiones que tiene un canal de regadío son 80 cm de ancho por 70 cm de alto; en algunos sectores, alcanza los 80 cm de ancho por 90 cm de alto [7].

Entonces, para desarrollar el diseño, el diámetro máximo que tendrá la turbina será 70 cm, para que exista un pequeño espacio y así los alabes no golpeen las paredes del canal. Como segundo paso, se interpreta el elemento de la flor, en este caso, la espata, para determinar el ángulo correcto que tendrá el alabe. Tomamos como base de diseño una relación de ángulo entre la vertical y el inicio del alabe, una función en proporción del número áureo Φ ; siendo: $\Phi = (1 + \sqrt{5})/2$, y si fuese el caso modificando el ángulo de ataque de la turbina en proporción del número irracional $\sqrt{5}$, cuya cantidad permite una sucesión semejante a la naturaleza.

Las dimensiones insertadas en el *software* se desprenden de los siguientes cálculos, en donde:

D: Diámetro de la turbina

d: Diámetro del eje

$$A = \frac{D}{2} - \frac{d}{2}$$

Si:

- D=70cm
- d= 1plg= 2,54cm

En la figura 3, se detalla las distancias A, B, C, considerando el eje como base de diseño.

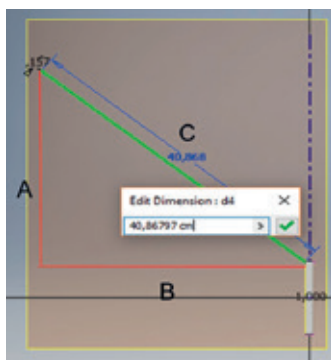


Figura 3. Cálculo de las dimensiones para la unidad básica de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

El ángulo « γ » se halla mediante una proporción del número áureo $\phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$; en este caso, se usa la ecuación:

$$\gamma = \frac{90^\circ}{\frac{1+\sqrt{5}}{2}}$$

$$\gamma \cong 55,62306$$

Para hallar C, se necesita del ángulo « γ » que se encuentra entre la vertical y el lado C.

$$C = A \cdot \csc(\gamma)$$

$$C = 40,86797 \text{ cm}$$

El diseño de estos cálculos se muestra en el diseño de la unidad básica. Tal como se muestra en la figura 4.

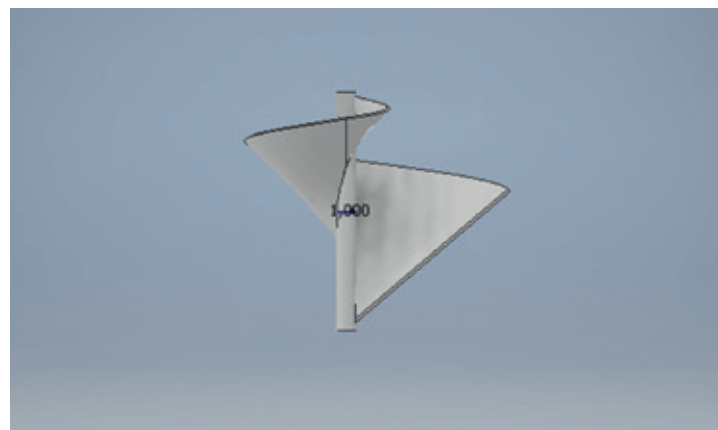


Figura 4. Resultado final de la unidad básica de estudio vista frontal.
Fuente: Elaboración propia.

Después de construir, ensamblar y analizar el movimiento de las turbinas, se procedió a desarrollar las pruebas en la simulación; en gran medida, esta etapa es el eje de esta investigación. Porque cuando se desarrolló en la metodología el diseño de 2 factores elevado a la potencia 3, en la figura 6, se realizó el análisis de presión que tiene la unidad básica de estudio. Cuando las iteraciones son menores, pueden tener un efecto de error en la simulación, por lo que se encontró que, por lo menos, para tener un dato fiable de estas turbinas, la cantidad mínima de iteraciones no debía ser menos de 100. En la figura

5, se aprecia que la presión es más en los bordes de la unidad básica de estudio, llegando a los 55 000 dina/cm, demostrando así que en esos lugares la presión es mejor. La presión abarca en toda el área de diseño, dejando solo una baja presión en las partes cercanas a las salidas del agua.

El mallado para la simulación de la unidad básica de estudio mostrada en la figura 5 fue automático, no se utilizó el método manual porque este elemento no tiene complejidad en su diseño.

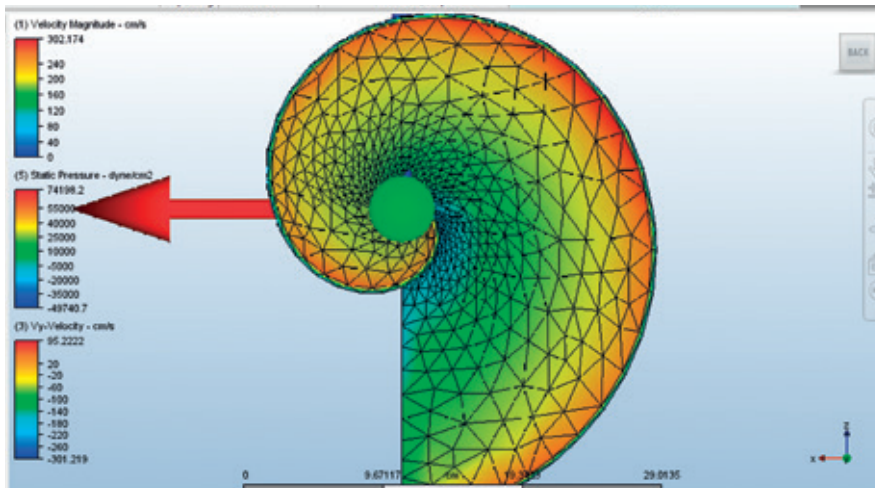


Figura 5. Mallado de la unidad básica de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

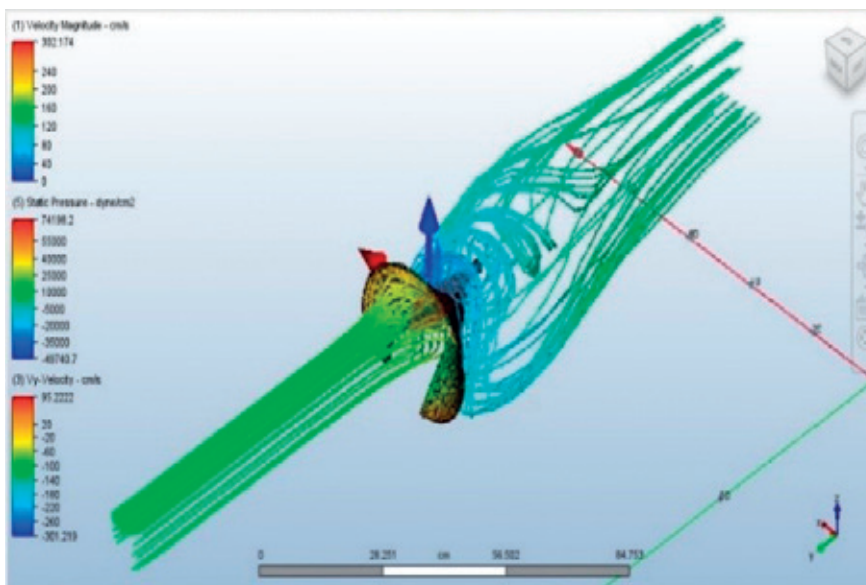


Figura 6. Simulación de la unidad básica de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

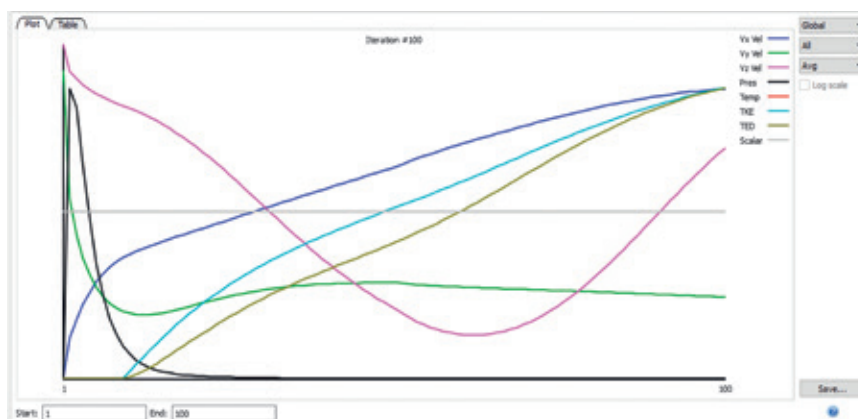


Figura 7. Estudio de convergencia de los resultados.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6, se aprecia la simulación de fluido, la parte que ingresa en la unidad básica de estudio atraviesa toda su área, disminuyendo su velocidad. Por ello, se entiende que poner una campana tras de otra mejora la capacidad de captación de fluido, pero en menor cantidad de fluido, en comparación de la primera campana y la siguiente.

En la figura 7, se muestra que después de 100 iteraciones la respuesta del sistema llega a una convergencia, se decidió, entonces, realizar 150 iteraciones para las 8 turbinas diseñadas a partir de la unidad básica de estudio.

La turbina escogida a través de cuál fue la mejor propuesta de turbina biomimética es la mostrada en la figura 8.

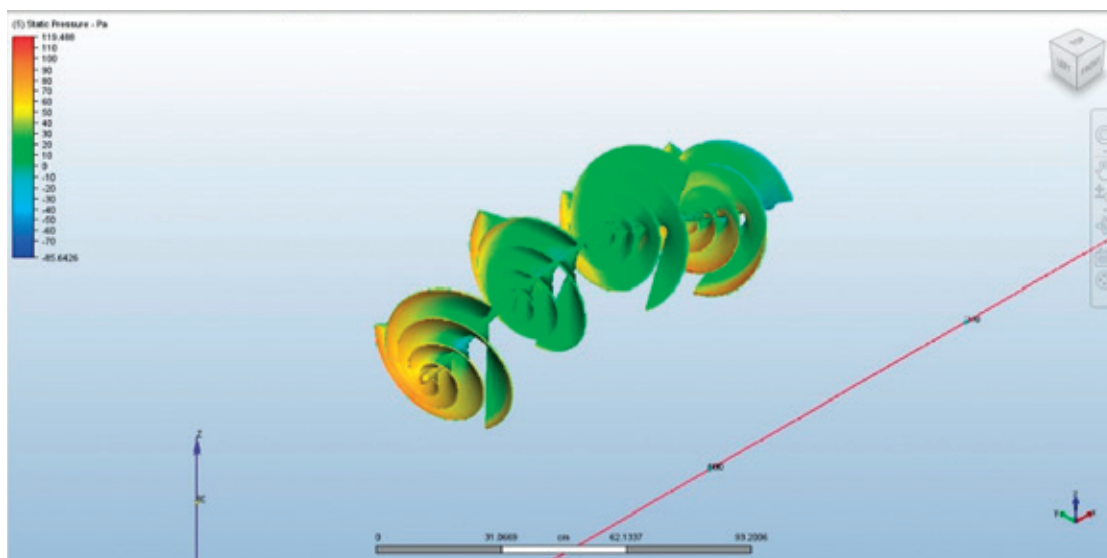


Figura 8. Análisis de la presión de la turbina seleccionada por los datos del diseño experimental.
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 1, se aprecia que, en los resultados obtenidos en las simulaciones, la turbina que tuvo un mejor resultado fue la que se usó cuando el eje biomimético alcanzó hasta 12,82N-m de

torque para velocidades de 0,25m/s de fluido en condición de frontera. Estos fueron sometidos en estado estacionario dentro del software CFD.

Tabla 1.
Rellenado de datos en la tabla de la Metodología para el diseño experimental.

Datos de los resultados con la combinación de las dimensiones incluyendo las réplicas					
Variable independiente			Variable dependiente		Réplicas (1)
Configuración de la turbina			Combinación de tratamientos		
Modelo de observaciones	Cantidad de alabes	Cantidad de campanas	Tipo de eje	Generación de energía eléctrica	
	Unidades	Unidades	Característica	Energía	Torque N-m
		A1	C1	E1	A1-C1-E1
E2				A1-C1-E2	6,322141
C2			E1	A1-C2-E1	0,80503
			E2	A1-C2-E2	12,82743
A2		C1	E1	A2-C1-E1	0,577989
			E2	A2-C1-E2	5,013356
		C2	E1	A2-C2-E1	0,679113
			E2	A2-C2-E2	12,09895

Técnica de recolección de datos:
 Cantidad de alabes: 02 niveles (A1= 3; A2=4)
 Cantidad de campanas: 02 niveles (C1= 3; C2=4)
 Tipo de eje: 02 niveles (E1= Estático; E2=Biomimético)
 Réplicas: 1
 Numero de observaciones: 8

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 9 de la gráfica normal de los efectos, se puede apreciar que el factor A (tipo de eje) tiene un efecto sobre el torque en un 90 %; la combinación de los factores AB (tipo de eje y cantidad de campanas) tiene un efecto sobre el torque en un 70 % aproximadamente; el factor B (cantidad de campanas) tiene un efecto sobre el torque en un 60 %; el factor C estuvo por debajo del 5 % en el nivel de efecto, por lo que la cantidad de alabes afecta en menor grado la turbina.

En la figura 10, se observan todos los factores, el mejor resultado se obtuvo cuando el torque fue de 12,8274 N-m, donde la turbina fue de 3 alabes, 4 campanas y donde el tipo de eje fue biomimético. Entonces, se comprueba que la mejor turbina para el nivel factorial propuesto es la turbina «A1-C2-E2».

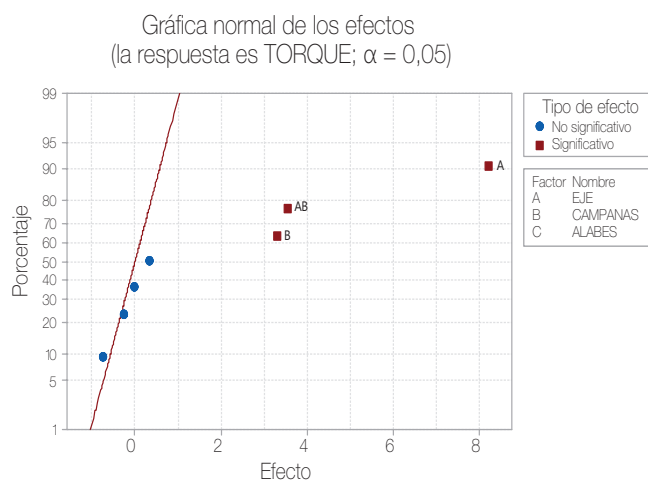


Figura 9. Gráfica normal de efectos.
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica de cubos (medias ajustadas) de TORQUE

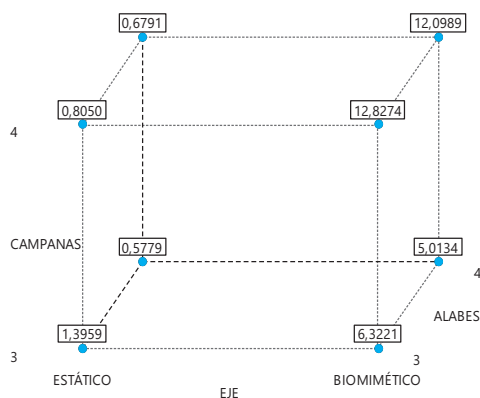


Figura 10. Gráfica de cubos de los 3 factores.
Fuente: Elaboración propia.

Análisis de los resultados

Se logró diseñar la unidad básica de diseño, basada en el lirio de agua como unidad natural de imitación, debido a que esta flor permite que entre sus espaldas el agua pueda pasar de una manera más adecuada; entonces, logra que se empape toda la hoja, de esta manera, se establece que fue la mejor opción

para el uso de este diseño y esto se aprecia al demostrar que se encontró que el diseño de la unidad básica de estudio llegó a alcanzar un torque de 10,385 N-m, cuando fue sometido bajo efectos de simulación.

Se configuró una turbina hidráulica con tecnología biomimética para generar con eficiencia energía eléctrica en las zonas con afluentes hídricos de bajo caudal, como primera opción a considerar serían las fuentes hidráulicas del valle del Mantaro. Esta turbina tiene 3 alabes, 4 campanas y es de eje biomimético, el cual fue nombrado como A1-C2-E2 donde el torque que genera es de 12,8274 N-m para 0,25m/s de velocidad del agua, siendo la más adecuada y eficiente frente a los otros 7 diseños desarrollados en esta investigación. Se evaluó 8 diseños de modelos de turbina hidráulica con tecnología biomimética para generar energía eléctrica en las zonas con afluentes hidráulicos del valle del Mantaro, en el cual se realizó 150 iteraciones para cada turbina, teniendo una adecuada simulación de lo que ocurriría cuando la turbina es sometida efectos verdaderos.

Los factores de diseño del modelo de la turbina hidráulica de tecnología biomimética permitirá generar energía eléctrica en las zonas con afluentes hídricos de bajo caudal en el valle del Mantaro de manera eficiente; usando el tipo de eje como efecto en el torque con 90 % de efecto, la combinación tipo de eje y cantidad de campanas en un 70 %, y la cantidad de campanas en un 60 %, en la combinación de cantidad de álabes y de tipo de eje que tiene mejor efecto son de 4 campanas y eje biomimético.

Se determinó la influencia de la modificación de la turbina con tecnología biomimética en la generación de energía eléctrica en las zonas con afluente hídrico de bajo caudal para generar energía eléctrica renovable, demostrando en la gráfica de cubos de los 8 factores el mejor resultado es cuando se tiene 3 álabes, 4 campanas y que sea de eje biomimético.

En la simulación de la distancia mínima de las campanas se consideró 10 cm debido a que se encontró que a esa distancia el torque de la primera pared es de 46,71 N-m, y el par en la segunda pared es de 13,13 N-M, por lo que el par se ha reducido de un 100 % a un 28,11 %. Esto permite que la campana siguiente continúe moviéndose alrededor de su eje.

Se halló la ecuación de regresión lineal del diseño experimental de las turbinas en respuesta al torque, el cual tiene la siguiente forma: «TORQUE= 3,903 - 7,948 EJE + 1,049 CAMPANAS - 2,972 ALABES + 3,716 EJE*CAMPANAS».

A través de la simulación, se pudo observar que el eje del tipo biomimético solo es aceptable cuando el caudal se encuentra entre 4m³/s a 7m³/s, pero, cuando se incrementa más el caudal, este tipo de turbina ya no se considera la más óptima.

Se encontró en los factores que depende mucho de la disposición en que estas están colocadas, por lo que el ángulo, cuando son acopladas, influenciará de manera significativa en el resultado del torque generado y, por ende, la generación desarrollada. En los resultados hallados, se muestra que en las turbinas en donde existe una cantidad menor de torque generado son las que tienen 4 álabes. Esto podría haber ocurrido al momento de ensamblar las piezas y no considerar un ángulo de separación entre cada álabe adecuado.

CONCLUSIONES

- Se logró diseñar una unidad básica, basada en la flor lirio de agua como unidad natural de imitación. Porque esta flor permite, que, entre sus espatas, el agua pueda pasar de una manera más adecuada. De esta forma, el agua que pasa por sus pétalos humedece toda la hoja, haciendo que esta sea la mejor opción para el diseño, debido a que, cuando se realizó la simulación, las paredes de la turbina llegan a alcanzar un torque de 10,385 N-m. Permitir que los alabes de la turbina se empapen con todo el fluido produce mayor torque en la turbina, por ende, genera más energía eléctrica.
- La configuración de elementos para generar nuevas formas de diseño es una manera adecuada de generar innovación en elementos electromecánicos orientado a investigación tecnológica. Este método para diseñar es muy confundido en investigación aplicada debido a que existe factores para diseños que se pueden configurar y evaluar el comportamiento del sistema; pero en el caso de esta investigación se muestra que es tecnológica, porque esos factores no son conocidos.
- La metodología del diseño de esta turbina se realizó en dos partes, debido a que no existe un método para investigación tecnológica. Este ayuda en trabajos científicos del tipo tecnológico donde se une lo técnico con lo científico, se realiza el diseño basado en cálculos, y de manera experimental, a través de simulación o simulaciones del elemento y con un análisis de datos estadístico se busca la mejor solución. Esta metodología puede ser utilizada por otros investigadores en investigación tecnológica, mejorando los resultados en innovación.
- Se determinó la influencia de la modificación de la turbina con tecnología biomimética en la generación de energía eléctrica demostrando, en la gráfica de cubos de los 8 factores, que el mejor resultado es cuando se tiene 3 alabes, 4 campanas y es de eje biomimético. Se pudo demostrar en la fundamentación del problema que existe mucha necesidad energética, y un sector que necesita cubrir con el horizonte de uso de energía eléctrica. Debido a que las personas más vulnerables con esta necesidad son lugares rurales, se necesita implementar a través de microcentrales hidroeléctricas y que se dedique una especial atención a las investigaciones de este tipo, ya que en gran escala también pueden ser centrales eléctricas de base, entonces, este tipo de turbina propuesta será beneficioso en zonas rurales, por su capacidad de generación y su forma compacta.

REFERENCIAS

- [1] Benyus, J. [Fast Company]. (2011, octubre 04). What is Biomimicry? [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=FBUpnG1G4yQ>
- [2] Ecoticias (8 de febrero de 2012). Energía Hidráulica, la renovable del agua. [Publicación web]. Recuperado de <https://www.ecoticias.com/energias-renovables/61316/Energia-Hidraulica-renovable-agua-energias-renovables>
- [3] EIA, Today in Energy (2018). Natural gas expected to remain most-consumed fuel in the U.S. industrial sector - Today in Energy - U.S. Energy Information Administration (EIA). [Imagen]. Recuperado de <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=35152>
- [4] es.123rf.com. (2015). Ilustración de la disposición en espiral en la naturaleza. Patrón de Fibonacci. [Imagen]. Recuperado de https://es.123rf.com/photo_65153320_ilustración-de-la-disposición-en-espiral-en-la-naturaleza-patrón-de-fibonacci.html
- [5] Gaitán, J. (2017). *Validación del comportamiento de un rotor eólico biomimético mediante un modelo supervisado en CFD*. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia.
- [6] Gamio, P. (5 de abril de 2018). Ministerio de Energía y Minas: más allá de la minería, también importan las energías renovables. [Publicación web]. Recuperado de <https://pedrogamio.lamula.pe/2018/04/05/los-lobbies-y-la-falta-de-una-clara-voluntad-politica-resisten-a-la-inversion-en-energias-limpias/pedrogamio/>
- [7] Gobierno Regional Junín (5 de mayo de 2016). Gobierno Regional Junín intensifica II Etapa de canales de riego en Chupaca [Noticia web]. Recuperado de http://www.regionjunin.gob.pe/noticia/id/2016052310_gobierno_regional_junin_intensifica_ii_etapa_de_canales_de_riego_en_chupaca/
- [8] Martin, L. (7 de agosto de 2017). Energía para todos, el nuevo reto de Latinoamérica – Compromiso Empresarial. [Publicación web]. Recuperado de https://www.compromisoempresarial.com/innovacion_social/2017/08/energia-para-todos-el-nuevo-reto-de-latinoamerica/
- [9] Sánchez, R. (2015). Biomimética: una metodología de diseño sostenible. *Arquetipo*. (11), 25 – 40. Recuperado de <https://biblioteca.ucp.edu.co/ojs/index.php/arquetipo/article/view/3008/3104>
- [10] Tarabochia, M. (2017). Energías limpias: ¿Por qué es necesario desarrollarlas en el Perú? [Noticia web]. Recuperado de <https://larepublica.pe/sociedad/1136822-energias-limpas-por-que-es-necesario-desarrollarlas-en-el-peru>

ACERCA DE LOS AUTORES

Kevin Camayo

Egresado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Continental, participó en el CADE universitario 2017, en Huancayo, Perú.

@ 47678125@continental.edu.pe

Carlos Quispe Ancasi

Ingeniero electricista, magíster en Tecnología Energética y doctor en Administración, Maestría en Administración de Empresas, mención en Informática para la Gestión de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Consultor y especialista en el sector electricidad, regulación y energía. Es gerente general de la empresa CIRS EIRL, asesor y jefe de proyectos de la empresa CVR Consulting SRL. Docente e investigador de la Universidad Continental, EAP Ingeniería Eléctrica.

@ cquispea@continental.edu.pe

César Quispe

Director de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y docente de la Universidad Continental. Ingeniero electricista, licenciado en Educación (especialidad Matemática y Física) por la Universidad Nacional del Centro del Perú, magíster en Gestión Educativa y doctor en Ciencias de la Educación por la Universidad Nacional del Centro del Perú.

@ cquispel@continental.edu.pe

Nabilt Moggiano

Directora de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Continental, licenciada en Física por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, máster en Disaster Management (GRIPS, Japón). Exbecaria JICA-Perú.

@ nmoggiano@continental.edu.pe

Recibido: 13-05-19

Revisado: 12-07-19

Aceptado: 22-07-19



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial 4.0 Internacional.