



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

**Influencia Del Angulo De Ataque Del Alabe Directriz Sobre La Potencia
Generada En Una Turbina Michell Banki Mini Central Hidroeléctrica
Gallito Ciego**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Eléctrico

AUTOR:

Arevalo Rodriguez, Lenin Marciano (orcid.org/0000-0001-7786-1907)

ASESOR:

Mg. Ing. Julca Verastegui, Luis Alberto (orcid.org/0000-0001-5158-2686)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A Dios

Por haberme permitido culminar mi carrera, brindarme salud, por darme una bonita familia, por brindarme su amor día a día; y por llenarme de esperanzas frente a las circunstancias de la vida.

A mi madre

Carmela Rodríguez Pérez por brindarme su amor y su apoyo incondicional, perseverancia de querer siempre lo mejor para mí y querer verme una persona realizada.

A mi hija

Lia Arévalo Gonzales por servirme de inspiración para poder culminar mi carrera y por haberme hecho sentir; un sentimiento que es indescriptible, que es el de ser padre.

A mi esposa.

Flor Gonzales Piña por haber tenido esa paciencia de esperar que culmine mi carrera; por su amor y su ternura.

A mis hermanos.

Nathali Arévalo Rodríguez y Jhonatan Arévalo Rodríguez; decirles que son una parte importante en mi vida y que me siento agradecido al Señor por tenerles.

Lenin Marciano Arévalo Rodríguez

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado una gran madre y una gran familia, por brindarme la vida y la esperanza de seguir adelante.

A la Universidad César Vallejo que me acobijó en sus aposentos y a la plana docente: Ing. Luis Alberto Julca Verastegui, Ing. Eli Guayan Huaccha, Ing. Jorge Antonio Olortegui Yume, Ing. Sixto Ricardo Prado Gardini, Ing. Raúl Paredes Rosario, Ing. Walter Castro Anticona, Ing. Carlos Huertas Sánchez, Ing. Jaime Honorio Acosta, Ing. Jorge Inciso Vásquez, Ing. Alex Tejada Ponce; quienes me formaron como persona y profesional.

Un agradecimiento especial al ingeniero Luis Alberto Julca Verastegui por su apoyo y aporte a este trabajo de investigación; gracias por la consideración, paciencia, aprecio y apoyo que tuvo a mi persona.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT.....	vi
I INTRODUCCIÓN	8
1.1. Realidad Problemática	8
1.2. Trabajos previos	9
1.3. Teorías relacionas al tema.....	12
1.4. Formulación del problema	22
1.5. Justificación del estudio	23
1.6. Hipótesis.....	23
1.7. OBJETIVOS.....	23
II METODOLOGÍA.....	24
2.1. Tipo y diseño de investigación	24
2.2. Variables, y operacionalización	24
2.3. Población y Muestra.....	26
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	26
2.5. Métodos de análisis de datos.....	27
III RESULTADOS	28
3.1. Condiciones del flujo y de la turbina hidráulica	28
3.2. Determinación de las dimensiones y parámetros de operación de la turbina.	33
3.3. Parámetros de operación de la turbina debido al Flujo:.....	35
3.4. Comparación de resultados de análisis CFD y datos medidos en la turbina para determinar la influencia de ángulos de ataque de álabe directriz:	43
IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46
V CONCLUSIONES	48
VI RECOMENDACIONES.....	50
IV REFERENCIAS	51
ANEXOS	53

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación aplicada se estudió la influencia de la variación de los ángulos de ataque del álabe directriz sobre la potencia generada en una turbina hidráulica tipo Michell Banki, usando metodologías de modelamiento en software CAD CAE solidworks Flow simulation para luego realizar un análisis y simulación del flujo de agua alrededor del álabe directriz y su efecto de generación de energía mecánica al atravesar el rodete en esta turbina, evaluando la potencia generada, sin intervención de la carga del generador eléctrico, para lo cual se utilizaron las dimensiones y condiciones de operación de un fluido viscoso, incompresible, considerando una temperatura de 20°C en promedio, en estado permanente y geometría tridimensional, el cual fluye alrededor del álabe directriz de la turbina hidráulica tipo Michell Banki del proyecto PEJEZA en la Región Cajamarca, llegando a obtener el comportamiento del flujo, la distribución de velocidades y de presiones así como los torques efectivos en el rodete. Se analizó y determinó también algunos parámetros de la turbulencia generada para varios ángulos de ataque o de inclinación del alabe directriz, según la orientación o ángulo de ataque del flujo sobre el borde del álabe que se consideró de rugosidad de 26 micrómetros, acorde al material de acero comercial. Los resultados muestran que la influencia del ángulo de ataque sobre el comportamiento del torque generado, es variable debido a que para ángulos de ataque pequeños se incrementan la potencia generada y para ángulos grandes disminuye significativamente.

Palabras Clave: Turbina Michell Banki, ángulo de ataque, potencia generada.

ABSTRACT

In the present applied research work, the influence of the variation of the angles of attack of the guide blade on the power generated in a Michell Banki-type hydraulic turbine was studied, using modeling methodologies in CAD CAE solidworks Flow simulation software to then carry out an analysis. and simulation of the flow of water around the guide blade and its effect of generating mechanical energy when passing through the runner in this turbine, evaluating the power generated, without the intervention of the load of the electric generator, for which the dimensions and conditions of operation of a viscous, incompressible fluid, considering a temperature of 20°C on average, in a permanent state and three-dimensional geometry, which flows around the guide blade of the Michell Banki-type hydraulic turbine of the PEJEZA project in the Cajamarca Region, obtaining the behavior of the flow, the distribution of velocities and pressures as well as the effective torques on the impeller. Some parameters of the turbulence generated for various angles of attack or inclination of the guide blade were also analyzed and determined, depending on the orientation or angle of attack of the flow on the edge of the blade, which was considered to have a roughness of 26 micrometers, according to the material of the material. commercial steel. The results show that the influence of the angle of attack on the behavior of the generated torque is variable because for small angles of attack the power generated increases and for large angles it decreases significantly.

Keywords: Michell Banki turbine, angle of attack, generated power.

I INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Al día de hoy, la mini central hidroeléctrica Gallito Ciego – Pejeza se encuentra localizada en la región Cajamarca provincia de Contumazá y en el distrito de Yucán, en la zona denominada Gallito Ciego colindante al Río Jequetepeque. El proyecto Pejeza se encuentra ubicado al pie de la represa. Por consiguiente, hace uso de turbinas hidráulicas denominadas también turbina de flujo transversal, la cual fue creada por los ingenieros; Antonio Michell, Donát Bánki y Fritz Ossberger. Dando a conocer a la turbina de generación eléctrica con un diseño muy sencillo para la central hidroeléctrica, (NS Power Perú, 2003) compro la central hidroeléctrica teniendo en cuenta que finalmente en el 2004 la misma empresa paso a tener control de los activos y operaciones. (Bernilla, 2015).

En el presente trabajo de investigación se estudió el comportamiento del sistema turbogenerador. Hay que tener en cuenta que al paso de dos veces se obtendrán unas eficiencias elevadas para los flujos variables, lo cual también obtiene un beneficio de limpieza al rotor de los residuos que le pueden averiar. Esta máquina viene teniendo una velocidad baja, la cual es la mejor para bajas alturas, y se llega a tener grandes beneficios en elevados caudales, siendo simples en su construcción la cual también es de un costo reducido tomando referencia con las demás turbinas que se exponen en el mercado.

Este trabajo de investigación se realizó, teniendo en consideración de un desarrollo eficiente de la generación de energía eléctrica en nuestro país, en el sector hidroenergético, que actualmente constituye el principal motor generador de energía eléctrica y tiene un impacto en las políticas energéticas y la explotación racional y eficaz de las energías renovables.

Existe en Perú un alto potencial de fuentes energéticas renovables y es posible establecer escenarios tecnológicos y económicamente factibles, con grandes ventajas ambientales un ejemplo de este tipo de turbina Michel

Banki la encontramos en Departamento de Cajamarca, Provincia de Contumazá, Distrito de Yonán, localidad de Gallito Ciego, Rio Jequetepeque, con coordenadas UTM Este 691068 Norte 9199943.

Cabe recalcar, que nuestro territorio nacional, no beneficia a las comunidades rurales dado que, por su difícil acceso a estas, el sistema de interconexión no llega a estas localidades; sin embargo, frente a esta problemática, el panorama es alentador gracias a los recursos hidráulicos de nuestro país, con ríos que presentan grandes caídas y pequeños caudales que posibilitan la instalación de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH). Es en este punto que el Estado, mediante el Programa Nacional de Electrificación Rural (PNER) del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), viene ejecutando programas de electrificación rural de bajo impacto ambiental, utilizando tecnologías aplicables a esa realidad, entre ellas: la construcción de PCH de menos de 500 Kw de potencia.

A pesar de algunas ventajas relativas de la turbina Michell-Banki frente a las clásicas y de los antecedentes de su utilización en el país, en general ésta continúa siendo desconocida, y, por tanto, poco utilizada. Se considera oportuno entonces estudiar su forma y funcionamiento de ésta y de cómo está haciendo presencia en el Perú, para elaborar proyectos hidroeléctricos que aprovechen recursos hídricos comprendidos entre 200 m de caída máxima y caudal mínimo de 0.5 m²/s de un lado; 10 m de cabeza mínima y potencias nominales entre 2 y 1000 Kw, principalmente.

1.2. Trabajos previos

Vásquez De León, José Daniel (2007), en su tesis titulada “Micro – Hidroeléctrica tipo Michell - Banki funcionamiento, mantenimiento y componentes” (Guatemala), se realizaron los cálculos de una micro central hidroeléctrica construida por la organización de las naciones unidas para los desarrollos industriales (UNIDO), en donde se nombra la central hidroeléctrica dando una potencia inferior de 10mw. La central hidroeléctrica se ha estudiado y se ha identificado una instalación, la cual

fue destinada a la producción de energía hidroeléctrica e identificar la clasificación de la micro central hidroeléctrica para una buena generación de energía en una escala reducida y para diferentes potencias los cuales se han ido proporcionando en niveles entre Pico, Micro, Mini de la Pequeña Central. De acuerdo al ensayo hecho a las turbinas de flujo cruzado o Michell Banki, en la cual se observa que un aumento de caudal genera un aumento de potencia para diferentes caudales de circulación, mediante una variación de velocidades de rotación del rodete, demostrando el efecto directo del caudal sobre la potencia generada en el rodete.

Se obtuvo 50 vatios de la potencia en el sistema que es suficiente de energía que se produce solo en una jornada durante un día que tiene una duración de 6 o más horas de trabajo, para lo cuales se tomó en cuenta seis bombillos que se moverán eficientemente a ($50w * 24 hr = 120whr/día$). Donde se toma en cuenta un banco de baterías que almacenan la energía que fue generada durante toda la jornada y la instalación está trabajando en corriente directa

Arellano Vilches, Mario Alfonso (2015), en su tesis titulada “Generación del álabe del rotor para mejorar el torque en una turbina Michell – Banki”. (UNCP), estudió el problema de mejorar el rendimiento de la turbina Michell – Banki, usando simulación numérica, en el cual analizó el comportamiento del flujo a través del rodete y álabe directriz, debido a que en otros estudios ya se había analizado el rendimiento en función de la altura de turbina y el diámetro del rodete. El propósito de este trabajo fue el de analizar la influencia del perfil del álabe con y sin filo y del espesor del mismo sobre el torque generado en el rodete, a través de una simulación realizada en software ANSYS. Se determinó y probó la hipótesis de que la configuración geométrica del alabe con perfiles afilados y su espesor si tiene una influencia directa en el torque generado en el rodete de la turbina.

Aspilcueta Valderrama, Leonida Martines y Juares Andrés, Dany Porfirio (2014), en su tesis titulada “Modelamiento hidráulico de la mini central hidroeléctrica del centro poblado de Ilopish – Ancash” (TRUJILLO) mediante la topología del terreno es irregular no uniforme con pronunciadas pendientes, posee vegetación oriunda del lugar, se determinó que el caudal de captación y conducción es de 6.5 l/s y un caudal máximo de 1.95 m³/s. Por lo consiguiente se obtuvo una determinada demanda de electricidad en para un lapso de tiempo de 20 años, potencia de 30 kw, se utilizó un caudal de diseño igual al de captación con una altura de caída de 48.5 m, siendo un total de 729 habitantes.

Curriel C. y Asuaje M. (2009). En su tesis titulada “Análisis de flujo interno de una turbina tipo Banki utilizando herramientas de la dinámica de fluidos computacional” (Venezuela), en este estudio se realizó un análisis de flujo interno para la turbina Michell Banki, también conocida como flujo cruzado en donde fueron también utilizados la simulación numérica y las técnicas DFC. Las turbinas estudiadas son simples de fabricar y de bajo costo, Donde viene a surgir una necesidad de identificar los siguientes fenómenos fluidodinámicos, en los cuales causan un bajo rendimiento en la turbina. Mediante el análisis computacional se consideró un flujo multifásico, compuesto por agua y aire con las mismas condiciones de operación que del ensayo experimental que se llevó a cabo en la turbina, del Laboratorio de Conversión de Energía Mecánica. Posteriormente se obtuvieron las curvas de ensayo de la turbina para varias velocidades de operación. Los resultados de la simulación presentan una gran similitud con los resultados que se obtuvo experimentalmente, con una desviación en el orden del 3% de error. Se obtuvo que el 70% de la transferencia de energía se da en la primera etapa al pasar a través del rodete, mientras que el 30% restante se presenta en la segunda etapa o fase del paso del flujo a través del rodete. Tomando en cuenta los análisis cualitativos para un patrón que ayudan a los fluidos, donde se detectan un posible fenómeno responsable de un bajo rendimiento para la turbina, donde el agua circula desde el inyector y la carcasa y así llega el fluido hasta la rueda de la turbina presentándose

turbulencias rotacionales o vórtices en el flujo en zonas inter-álabe y la presencia de flujo que entra y sale del rotor sin intercambiar energía con el rodete denominado “Flujo No cruzado”.

Ariel R. Marchegiani. En su trabajo de estudio titulada “Simulación numérica del flujo en una turbina tipo Banki” realizada en el Laboratorio de Maquinas Hidráulicas. Departamento de Mecánica Aplicada en la Facultad de Ingeniería en la Universidad Nacional del Comahue, Buenos Aires 1400 (8300) Neuquén. En el trabajo de investigación que realizaron se presentan datos obtenidos de la simulación numérica de la turbina Michell Banki o conocida también como flujo transversal para el flujo en 2D. Para el trabajo de investigación que es numérica y en la cual se estaría calculando la eficiencia de la turbina, y se utiliza el estudio de diseño conocido como la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

El objetivo que se toma en cuenta para las simulaciones es el modelo de fluido turbulento donde fueron utilizando los modelos de turbulencia k- ϵ . Para lo cual tuvo un impulso de salto de presión para la entrada y también para la salida a partir de los valores que fueron obtenidos, pero siempre en cuando se fueron teniendo en cuenta los valores típicos de operación de la turbina Michell Banki. Para la simulación numérica se tuvo que llevar a cabo mediante el siguiente software (FLUENT), que nos resuelve numéricamente el presente problema que fue planteado, donde siempre se tiene el método de volumen finito (FVM), aplicados para los flujos más permanentes y los datos obtenidos fueron comparado con los datos experimentales para validar a fin el modelo teórico.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Definición de la turbina

La turbina de flujo cruzado en estudio, se utiliza mayormente en pequeñas alturas en la micro central hidroeléctrica, como en trabajos previos ya han sido demostrada en su diseño muy sencillo y fácil de construirla, señalando que su diseño lo hace muy especial y atractiva, la cual es fácil

de maniobrar e instalarla dentro de una micro hidroeléctrica para tener un plan económico y dar un rendimiento establecido, lo cual no perjudica que la turbina se puede utilizar en grandes escalas. También se sabe que las turbinas son motores rotativos que se encargan de transformar energía mecánica en energía eléctrica.

1.3.2. Componentes de la turbina

1.3.2.1. Inyector

El inyector es el componente principalmente que es utilizado como una guía para direccionar el ingreso del fluido hacia el rotor. Ya que en la parte interna del inyector se encuentra a un alabe directriz, que tiene la función de regular el caudal de ingreso y también controlar la potencia que sale en dicho generador. Donde el inyector forma es un componente de la también conocida como flujo transversal donde influye conjuntamente con la eficiencia total de la turbina.

El inyector tiene una forma muy adecuadamente para su diseño, por lo cual genera bajas pérdidas de carga que son producidas y nos hace permitir que para obtener un de las distribuciones más uniformes de la velocidad es dándose las siguientes determinaciones de las cantidades de alabes te la turbina.

Donde se sabe que los inyectores tienen que ser diseñados de una forma muy adecuada y nos aseguraría un bajo nivel de pérdidas en las cargas, también nos podría permitir tener una distribución más uniforme de todas las velocidades donde se tiene el caso de una sección de salida, y nos permitiría una mayor transformación de la energía potencia a la energía cinética.

El diseño del Inyector tiene las secciones transversales rectangulares las cual viene a estar compuesta de dos caras laterales en una sección recta principalmente y las superiores que son las envolventes. Es el que guiaría al fluido que en este caso es el agua, y mediante la

dirección descargaría todo el flujo en toda la superficie de los alabes del rodete.

Este vendría a ser la pieza en la turbina que soporta la presión más alta durante su paso que ingresa el fluido agua. Donde se ha tenido en cuenta que, para la fabricación, también se emplea una plancha delgada de acero metálico ASTM A36, sabiendo que el acero es de muy común uso en todas las estructuras metálicas y también para la fabricación de máquinas de diversos modelos y tipos los cuales son sometidos a diferentes cargas, dimensiones y medidas, también se puede hablar del acero que es fácil de utilizar, maquinar y soldable. También un caso especial para evitar la corrosión en donde se opta por cubrir toda la superficie de la pieza con resina epóxica para un mejor cuidado del material.

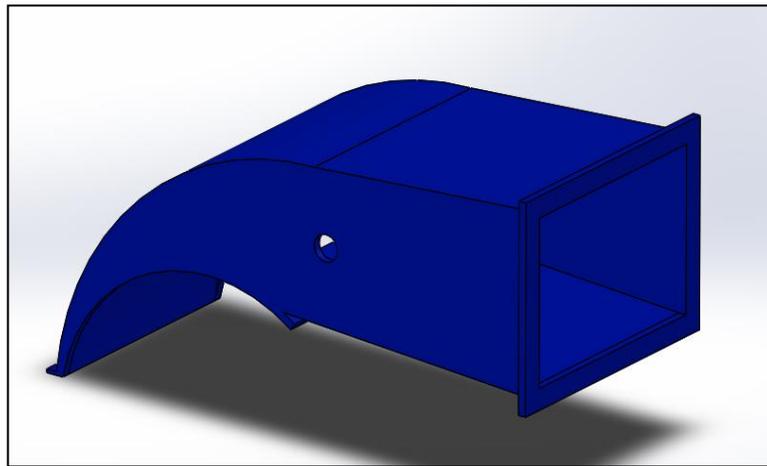


Figura N°01: Inyector de flujo a la turbina.

1.3.2.2. Alabe Directriz

Este componente permite regular o controlar las variaciones de flujo de agua ante diferentes condiciones de carga de operación de la turbina, accionada por un sistema móvil que modifica la posición, para evaluar la resistencia de los álabes directores de inyector múltiple, se deben calcular los esfuerzos que se producen al pasar el flujo alrededor de estos alabes.

Con los esfuerzos determinados al momento de cierre o apertura de los álabes, se selecciona el material de alta dureza para una mejor resistencia al desgaste y así disponer de una larga vida útil y alto factor de seguridad.

Debido a que la punta del álabe es un concentrador de esfuerzos, debe fabricarse como pieza maciza para lograr obtener factores de seguridad aceptables y en la parte posterior del mismo podría fabricarse de manera hueca para lograr uniformizar los factores de seguridad del álabe.

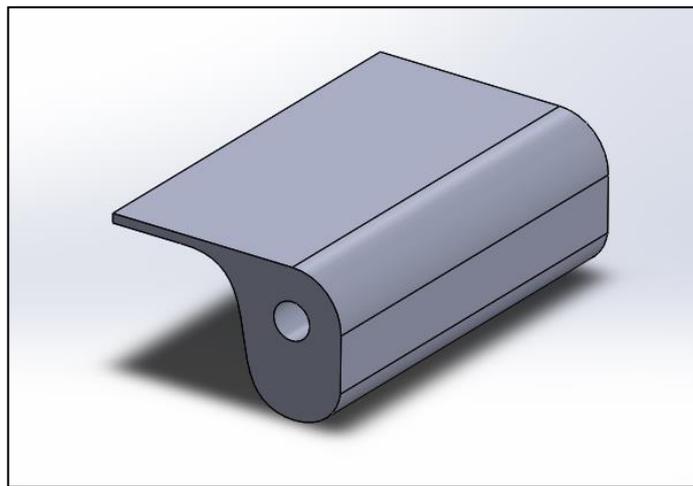


Figura N°02: Alabe directriz de la turbina Michell – Banki Proyecto Pejeza.

1.3.2.3. Carcasa

La carcasa es una parte que sirve de base y envuelve todas las piezas de la turbina, evitando también ingresen objetos extraños a la turbina y a los componentes de la turbina y a un mejor cuidado del rotor.

La carcasa cumple las siguientes funciones:

- Brindar la adecuada hermeticidad dentro de la turbina para lograr establecer una presión menor que la atmosférica a la salida del rodete.
- Brindar un adecuado acceso a los alabes y el rodete para operaciones de mantenimiento.

- Brindar una buena y racional resistencia a las presiones del golpe de ariete.
- Servir de soporte para los ejes de los alabes directrices.
- Brindar la conexión del tubo de aspiración y la tobera.

Este componente se fabrica mediante la unión de planchas delgadas y soldadas, con la respectiva verificación de la presencia de grietas o fisuras, así como las dimensiones precisas para garantizar una larga vida útil y direccionar al flujo a que salga de la turbina.

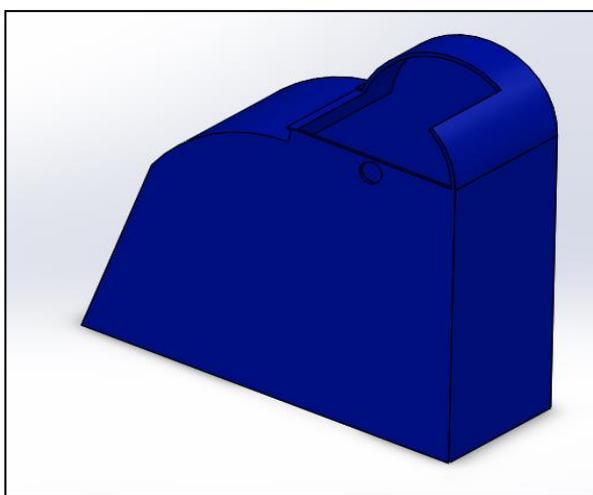


Figura N°03: Carcasa y canal de descarga de la turbina Michell – Banki, Pejeza.

1.3.2.4. Canal de Descarga y Tubo de Aspiración

Siendo una turbina de doble etapa centrípeta centrífuga donde al instalarla considerando una altura para los saltos grandes, muy comúnmente se instalarían sin el tubo de aspiración y como cualquier turbina de acción, debido a que las alturas que se pierden son despreciables con respecto a la altura total. Por consiguiente, se acopla al canal de descarga para la altura que es sobre los niveles de agua, donde las restricciones que se utilizan para las descargas está de acuerdo con las diversas variaciones y un desaprovecho mismo de la altura.

Para tener en cuenta en las instalaciones de la turbina Michell Banki con las diferentes alturas para un salto mediano o pequeño, para lo cual se tendría que instalar un tubo de aspiraciones. Este tubo nos ayudaría y nos permitiría realizar un modelo de ensayo para las diferentes crecidas con una gran utilización de todas las alturas disponibles que se puedan encontrar en el salto.

Siempre hay que tener en cuenta que el tubo de aspiración se debe instalar con su extremo superior dentro del fluido, hacia el conducto de restituciones, para luego obtener una presión de vacío en las zonas de la rueda de la turbina, y siendo este el caso para que el agua no se regrese siempre debe tener un cierre hermético que obstaculiza el paso del agua.

También se puede optar por tener una regulación desde el nivel del agua, generalmente se podría realizar con las válvulas de la aireación influyendo bastante sobre el vacío de la carcasa de la turbina. Donde la empresa (OSSBERER), nos aseguraría que otros nos permitan un aprovechamiento más óptimo de salto óptimo de saltos de hasta 1 metro.

1.3.2.5. Componentes ensamblados

En la siguiente imagen se muestra el conjunto de piezas principales y sus componentes antes mencionados que ensambladas tienen un propósito y funcionamiento que es la turbina Michell Banki.

- ✓ (1) Pieza de transmisión
- ✓ (2) Inyector
- ✓ (3) Rotor
- ✓ (4) Alabe directriz
- ✓ (5) Carcasa

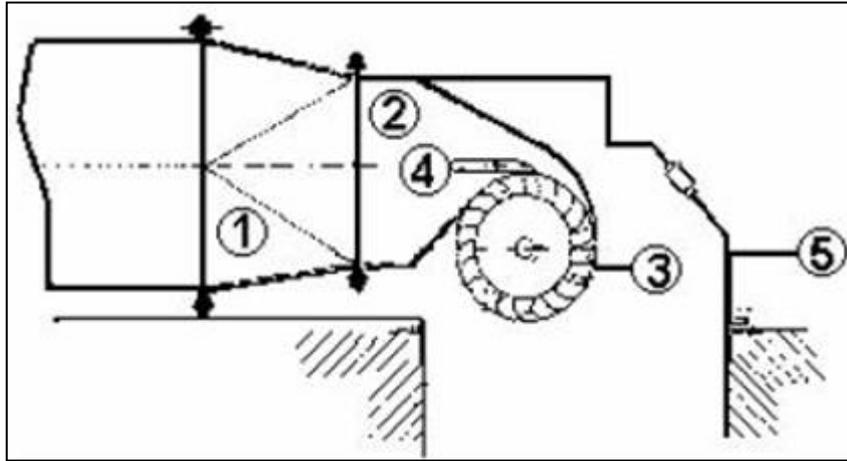


Figura N° 04: los componentes de la turbina Michell – Banki

Fuente: <https://jmirez.wordpress.com/2003>

1.3.3. Principios y Funcionamiento

La máquina tiene un gran aprovechamiento para un balance económico en pequeña escala, por lo cual no sería un impedimento para que la turbina se utilice en grandes instalaciones, hasta la actualidad se conoce que existen máquinas instaladas en las centrales hidroeléctricas que tienen un rango de 6 MW.

El funcionamiento para la siguiente turbina consta de las siguientes etapas proporcionadas en la imagen número 05, la primera etapa es cuando ingresa agua por el inyector y se encuentran con el alabe que tiene el funcionamiento de una válvula que regula el caudal.

Donde se lleva los controles a la rotación del eje de salida, y la necesidad de generación que se presente, Posteriormente el fluido ingresa al rotor y en donde se conoce que por las partes externas se pierde una parte de la energía, posteriormente siguiendo a los componentes de la turbina Michell Banki el fluido ingresa finalmente al rotor donde se ase la última entrega de la energía y finaliza su recorrido dentro de la turbina y el fluido abandona a una presión atmosférica.

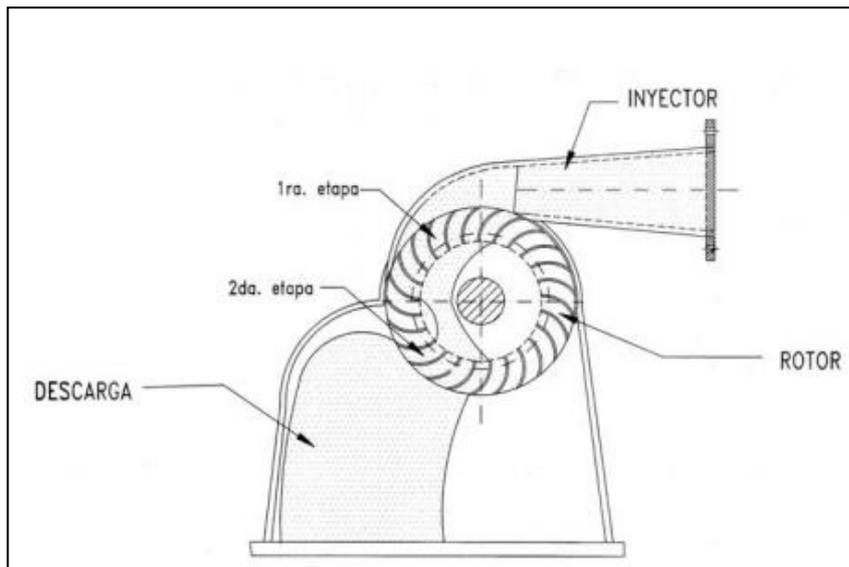


Imagen N° 05: etapas de funcionamiento de una turbina Michell – Banki

Fuente: <https://jmirez.wordpress.com/2003>

Los resultados que fueron realizados y obtenidos por algunos investigadores que se estaría situando en un rendimiento hidráulico para la turbina Michell Banki en un rango de 65 – 70 %. En otros diferentes autores definen que la turbina está en un 61%, y también se conoce que para una segunda etapa la turbina estaría entregando un 17% de rendimiento hidráulico. Generalmente mucho de los autores indican que la turbina Michell Banki está en el rango de 70% - 84%. Siendo su característica de la turbina la más sencilla y la más atractiva donde la curva de rendimiento tiene una forma aplanada y se puede observar en la imagen N° 06.

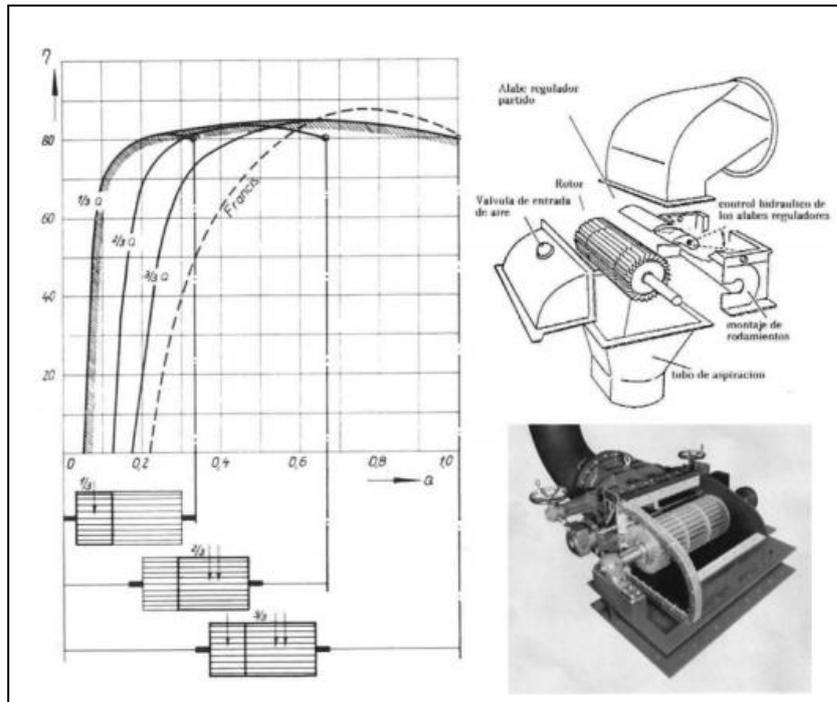


Imagen N° 06. Turbinas Michell Banki

Fuente: <https://jmirez.wordpress.com/2003>

1.3.4. Cálculo de la potencia nominal o de diseño

Según OLADE (1985) toma uso de los valores referenciales en un rango de 3.68 KW a 497.09 KW.

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot N_T ; \quad 3.68 \leq P \leq 497.09 \text{ (KW)} \dots\dots\dots (02)$$

$$P_{min} = \rho \cdot g \cdot Q_{min} \cdot H_{min} \cdot N_T$$

$$P_{max} = \rho \cdot g \cdot Q_{max} \cdot H_{max} \cdot N_T$$

1.3.5. Fuerzas de arrastre

Es una fuerza mecánica o llamada también como fricción de flujo, es donde la fricción de los objetos sólidos ase contacto con el fluido; también se considera como una suma de todas las fuerzas que existan aerodinámicas o hidrodinámicas en las direcciones del flujo y los fluidos externos. Es donde actuarían opuestamente a un movimiento del objeto, teniendo las fuerzas y el arrastre vendría a

ser un vector que tiene una dirección contraria a los movimientos del cuerpo.

$$F_a = \rho V^2 A (C_D) \dots\dots\dots (03)$$

Teniendo dos objetos grandes, también las fuerzas mui inercial en donde es dominante y definimos en este caso al coeficiente de arrastre, formula número 05.

$$C_D = \frac{F_a}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \dots\dots\dots (04)$$

1.3.6. Fuerzas de sustentación

Es una de las fuerzas ocasionadas en el fluido de una dirección perpendicular a las diferentes direcciones y movimientos del cuerpo. Estos cálculos son más importantes para el diseño y análisis de los alabes o alas de las aeronaves, también considerando a la geometría con un aeroplano donde se produce una fuerza de sustentación, cuando el fluido o aire pasa por sobre o debajo, dado ya el modelo matemático de las fuerzas de sustentación fórmula N° 06, de la cual se despeja para obtener en función del coeficiente de sustentación en la formula N° 06.

$$F_s = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_L \dots\dots\dots (05)$$

Se despeja y se deduce de la formula N° 06, para sacar el coeficiente de sustentación la que se muestra en la formula N° 07.

$$C_L = \frac{L_s}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \dots\dots\dots (06)$$

1.3.7. ALGORITMO DE DISEÑO DE LA TURBINA MICHELL BANKI

Después de realizar el análisis de los triángulos de velocidades el cual es un punto importante para describir el perfil de los alabes del rotor, pasaremos a mencionar las fórmulas y consideraciones que se tendrá en el diseño de los demás componentes que se utilizaran en la turbina Michell Banki.

1.3.8. Cálculo de rendimiento y potencia de la turbina michell banki

1.3.8.1. Rendimiento interno teórico:

Asumiendo ángulos de ataque del inyector (α_1) y su coeficiente de pérdida (Kc):

$$14^\circ \leq \alpha_1 \leq 18^\circ \quad ; \quad 0.95 \leq Kc \leq 0.98$$

$$n_{it} = Kc^2(1 - Tg^2\alpha_1) \dots \dots \dots (07)$$

1.3.8.2. Rendimiento interno:

Considerando el coeficiente de fuga de caudal: Para a = 0.95

$$n_i = a \cdot n_{it} \dots \dots \dots (08)$$

1.3.8.3. Rendimiento Total de la turbina:

Asumiendo que el rendimiento mecánico (n_m) según la calidad constructiva:

$$0.85 \leq n_m \leq 0.92$$

$$n_t = n_i \cdot n_m \dots \dots \dots (09)$$

1.3.8.4. Potencia nominal al eje:

Se considera caudal (Q) y altura (H) de diseño.

$$P = g \cdot Q \cdot H \cdot n_t \dots \dots \dots (10)$$

1.4. Formulación del problema

¿Cuál será la influencia del ángulo de ataque del alabe directriz sobre la potencia generada en una turbina Michell Banki de la mini central hidroeléctrico gallito ciego.?

1.5. Justificación del estudio

Aspecto Económico: El estudio de la eficiencia de los álabes directrices en las turbinas Michell Banki es importante para generar un mejor rendimiento y ser más rentables.

Aspecto Tecnológico: Es muy importante si se toma en cuenta las recomendaciones que podría realizarse a los álabes directrices de las turbinas Michell Banki en la hidroeléctrica Gallito Ciego – Pejeza.

Aspecto práctico: En el estudio del ahorro de la central hidroeléctrica Gallito Ciego – Pejeza, en la cual permitió aumentar el conocimiento sobre un correcto estudio de ahorro y eficiencia para generar una mejor generación de energía eléctrica.

1.6. Hipótesis

El ángulo de ataque del alabe directriz influye de manera significativa en la potencia generada, aumentando o bajando según su cierre o apertura del pasaje del álabe directriz.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1 Objetivo General

- Determinar la influencia del ángulo de ataque del alabe directriz, sobre la potencia generada en la turbina hidráulica Michell banki de la mini central hidroeléctrico gallito ciego.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información de operación de la turbina.
- Modelar en software CAD 3D los componentes de la turbina.
- Realizar las simulaciones del alabe directriz en distintos ángulos de ataque.

- Determinar las velocidades, presiones, fuerzas de rozamiento y potencias generadas en el rotor, para diferentes ángulos.

II METODOLOGÍA

2.1. Tipo y diseño de investigación

Es del tipo aplicada con un diseño no experimental: Es un estudio descriptivo y correlacional

2.1.1. Diagrama de flujo:

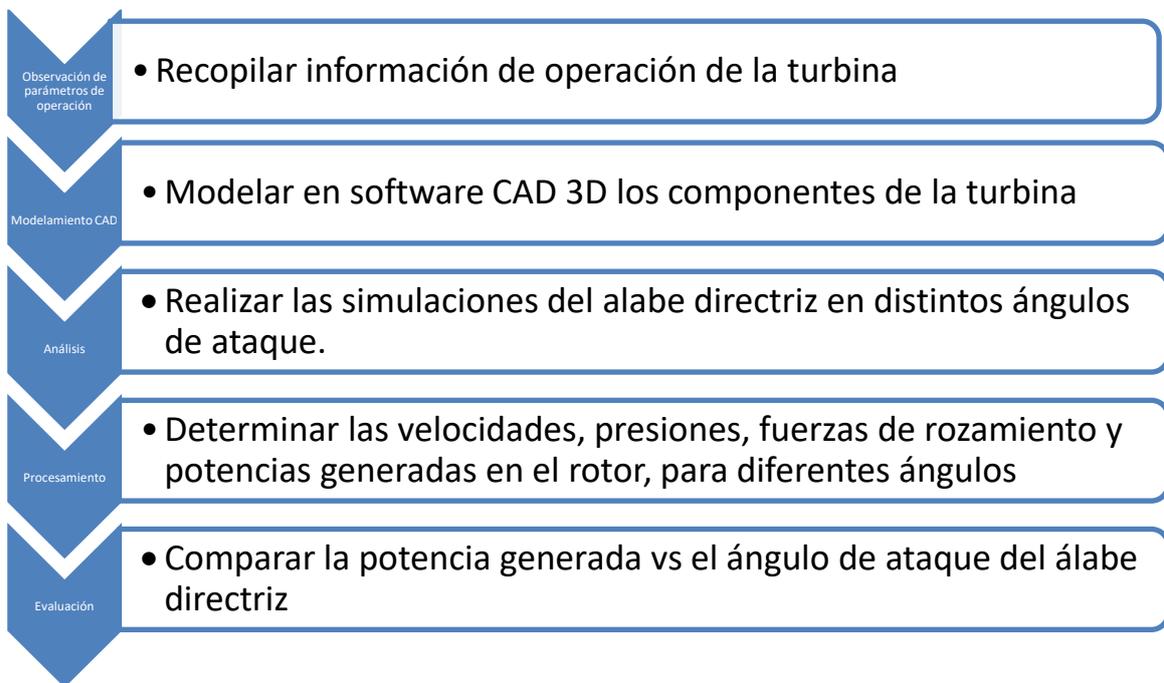


Figura N° 10: Se muestra un diagrama de flujo para el trabajo de investigación.

2.2. Variables, y operacionalización

Variables independientes:

Angulo de ataque de álabe directriz

Variables dependientes:

Potencia generada

Tabla N° 02: Desarrollo de las variables operacionales.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Escala
Angulo de ataque de álabe directriz	El ángulo que forma la cuerda del álabe directriz con la dirección de la velocidad promedio del flujo de entrada a la turbina hidráulica Mitchell Banki.	Posicionamiento del álabe directriz frente al flujo de agua entrante a la turbina hidráulica Mitchell Banki.	Medida angular 0, 15 y 30 grados sexagesimales	De razón
Potencia generada	Se refiere a flujo de energía mecánica generada en el eje del rodete de la turbina hidráulica Mitchell Banki	Se medirá según el torque efectivo multiplicado por la velocidad angular del rodete de turbina hidráulica Mitchell Banki.	Energía por unidad de tiempo	De razón

2.3. Población y Muestra

Población: Turbinas Michell Banki.

Muestra: Turbina Michell Banki en la Mini Central hidroeléctrica Gallito Ciego – Pejeza.

Muestreo: No fue necesario por ser una muestra única.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.1.2. Técnicas

Observación: Se empleó la observación simple de la instalación donde está implementado el sistema de regulación con álabe directriz para determinar algunas anotaciones importantes para modelar los componentes en software paramétrico 3D.

Análisis por simulación de software: Para la investigación, se realizaron estudios para diferentes ángulos de ataque y luego la simulación fluidodinámica.

Se utilizó el software de simulación licenciado de SolidWorks versión 2020, para la representación CAD en 3D y el software Flow simulación para la obtención de las soluciones y ecuaciones gobernantes, del comportamiento del flujo aplicando el método de los volúmenes finitos.

Los resultados obtenidos se procesaron en hoja de cálculo para determinar los valores promedio y determinar su significancia en la influencia del comportamiento de varios ángulos de ataque de 0°, 15° y 30°, bajo un régimen de flujo turbulento de $1.09e6$ y una temperatura del flujo de agua de 20°C con un diámetro hidráulico de 361.464 mm para la sección de entrada lo cual arrojó una velocidad del flujo de 3.616 m/s y una presión a la salida del conducto de descarga de 1 atm.

2.1.3. Instrumentos

- Base de datos
- Cámara fotográfica: LG g4 beat
- Laptop: Lenovo core i7
- Software de diseño: solidworks 2020 (@)
- Hoja de cálculo excel

2.5. Métodos de análisis de datos

El método que se utilizó para el análisis del estudio de la influencia del ángulo de ataque del alabe directriz sobre la potencia generada en la turbina Michell Banki es por análisis de datos en hoja de cálculo y simulación en software, donde se realizaron los estudios y parámetros en la cual se obtuvieron todos los datos necesarios para la investigación en los tres ángulos de ataque.

III RESULTADOS

3.1. Condiciones del flujo y de la turbina hidráulica

Las condiciones del flujo se adimensionalizaron considerando un régimen de flujo caracterizado por un flujo completamente desarrollado y turbulento con número de Reynolds $Re = 1.09 * 10^6$, para el cual se consideró una temperatura del fluido de 20°C.

Para modelar el álabe directriz y el rodete de la turbina se obtuvieron las medidas a partir de la verificación de las dimensiones principales de la turbina Michell Banki, disponiendo del algoritmo de cálculo de las dimensiones.



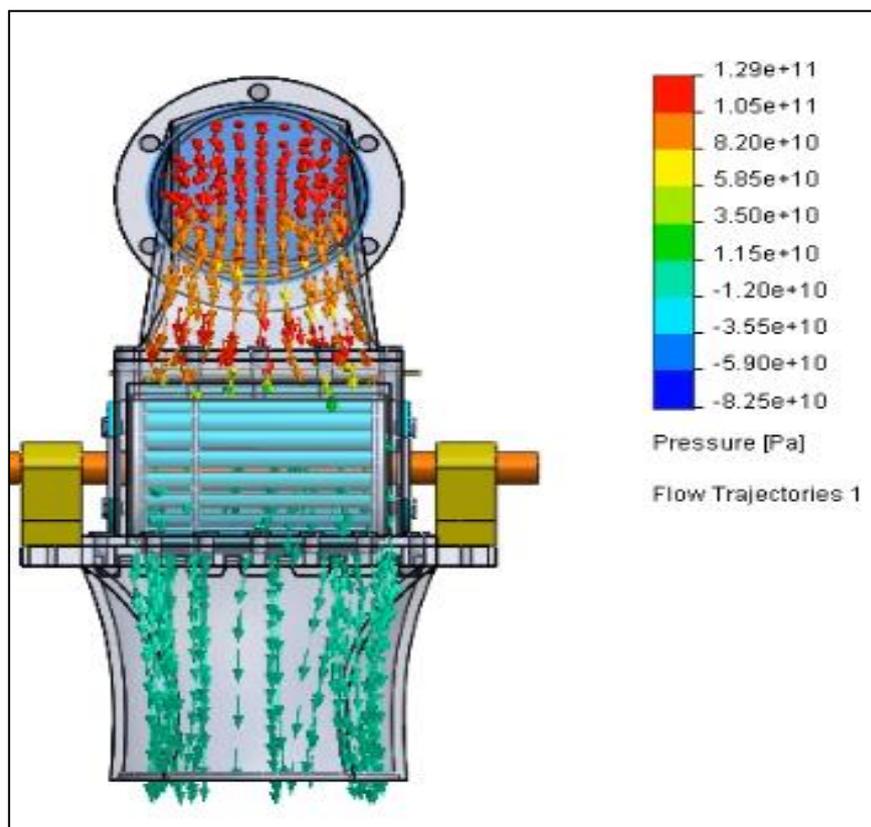
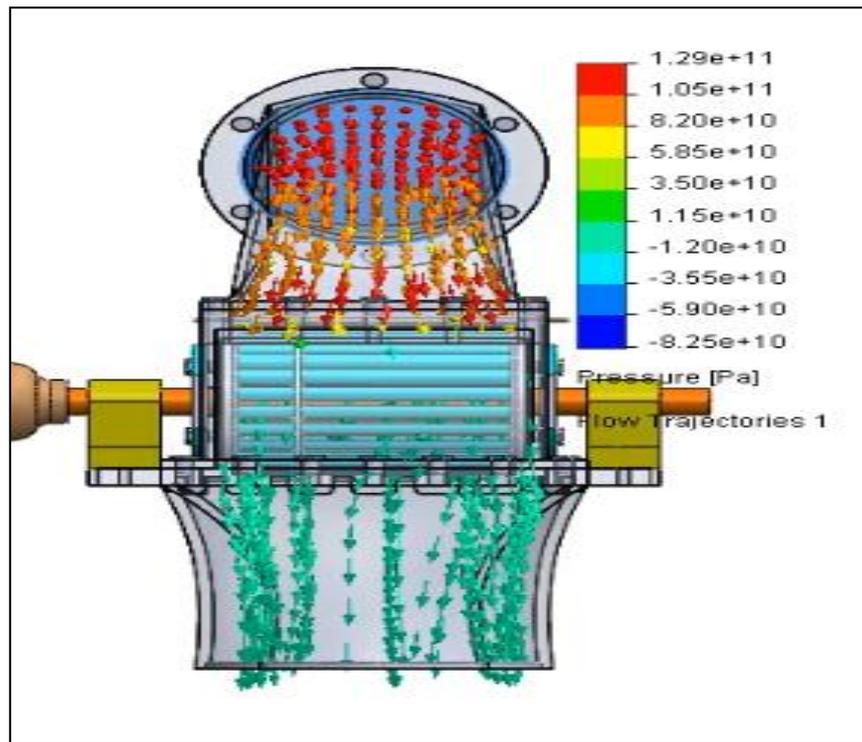
Figura N° 11: Rodete de turbina

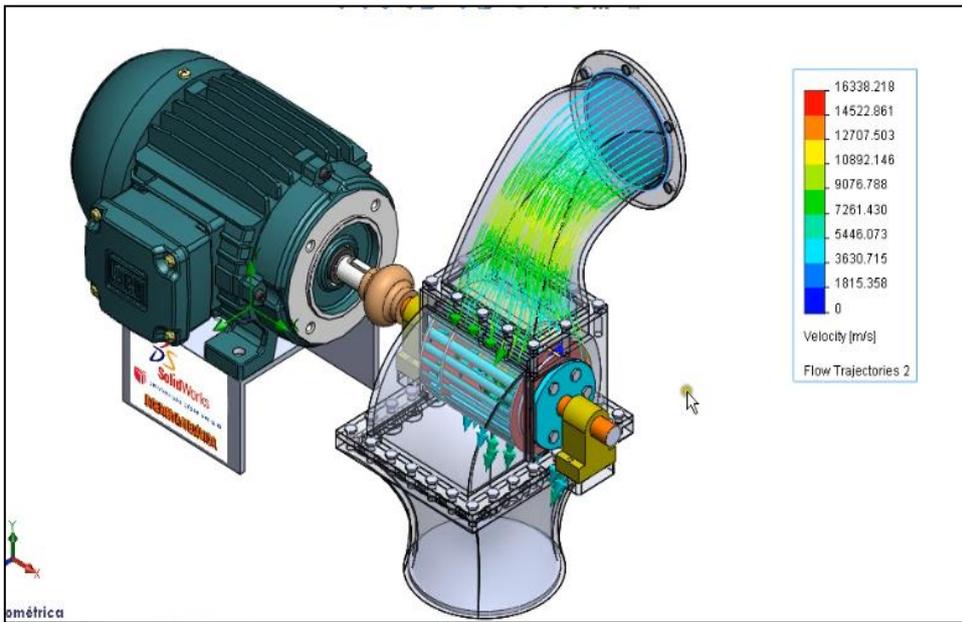
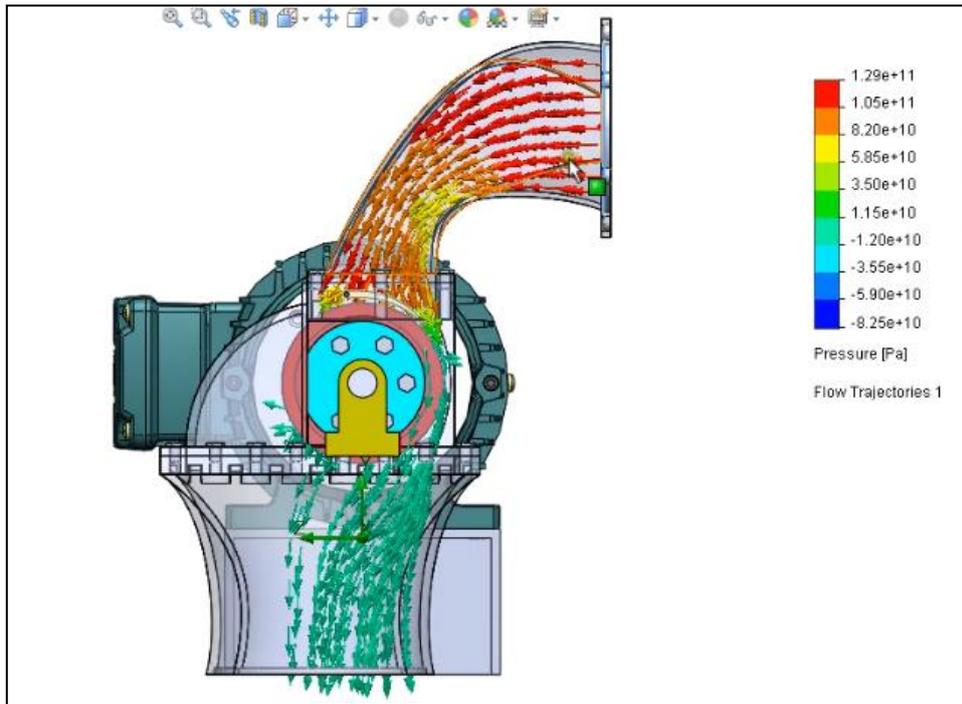


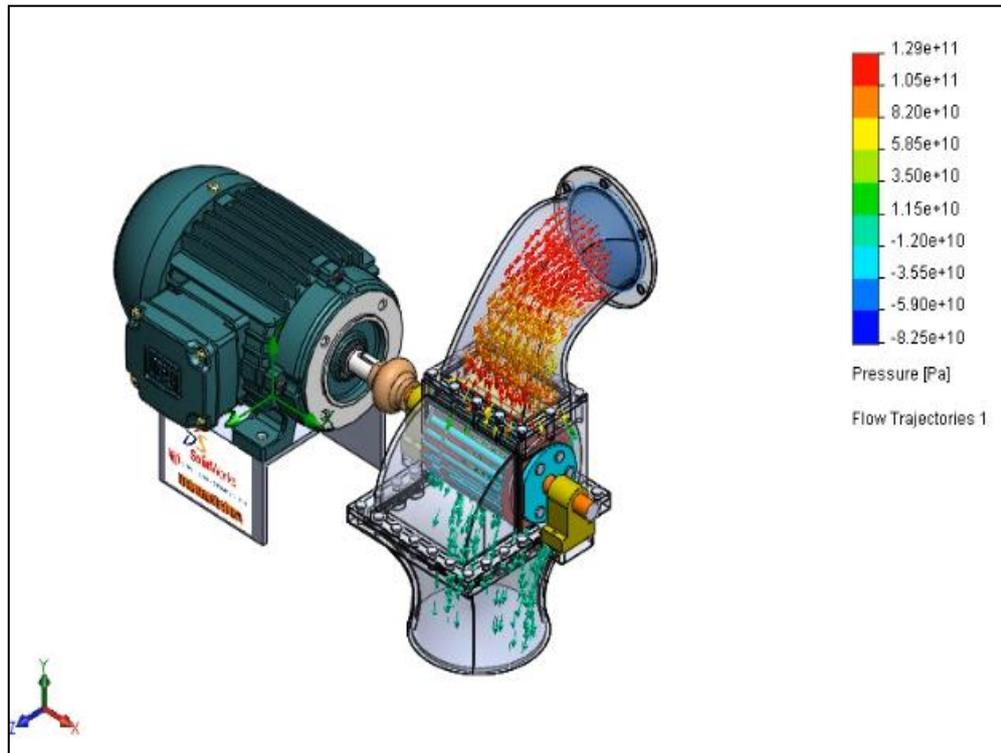
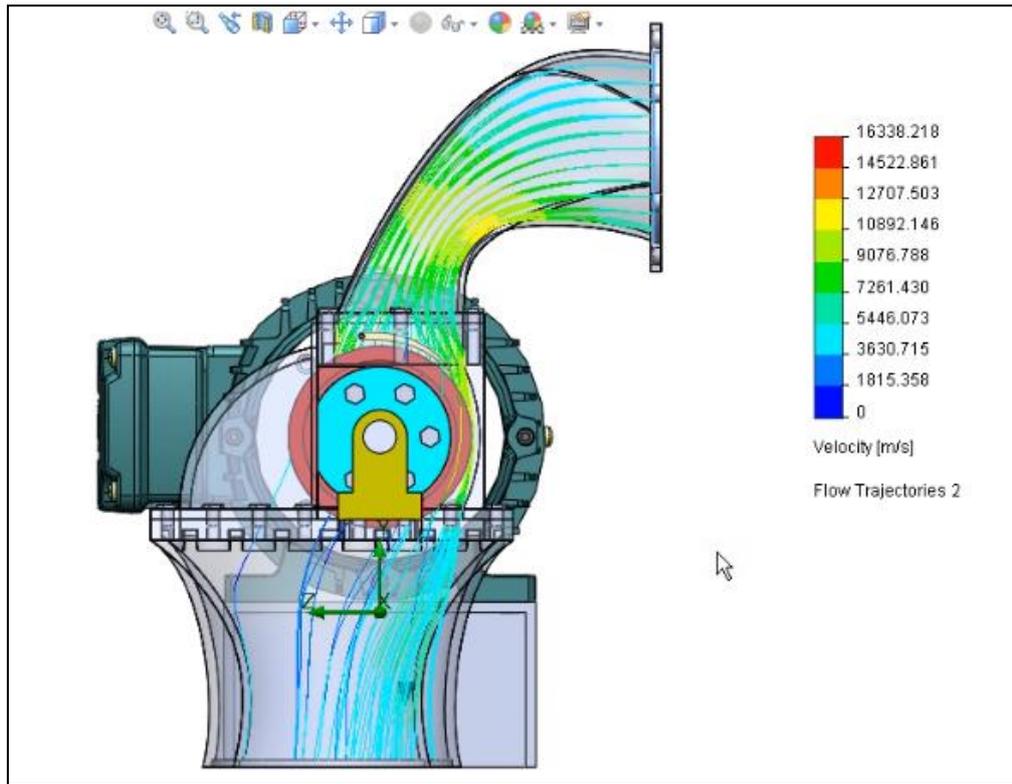
Figura N° 12: Alabe directriz de turbina



Figura N° 13: Modelo CAD de turbina







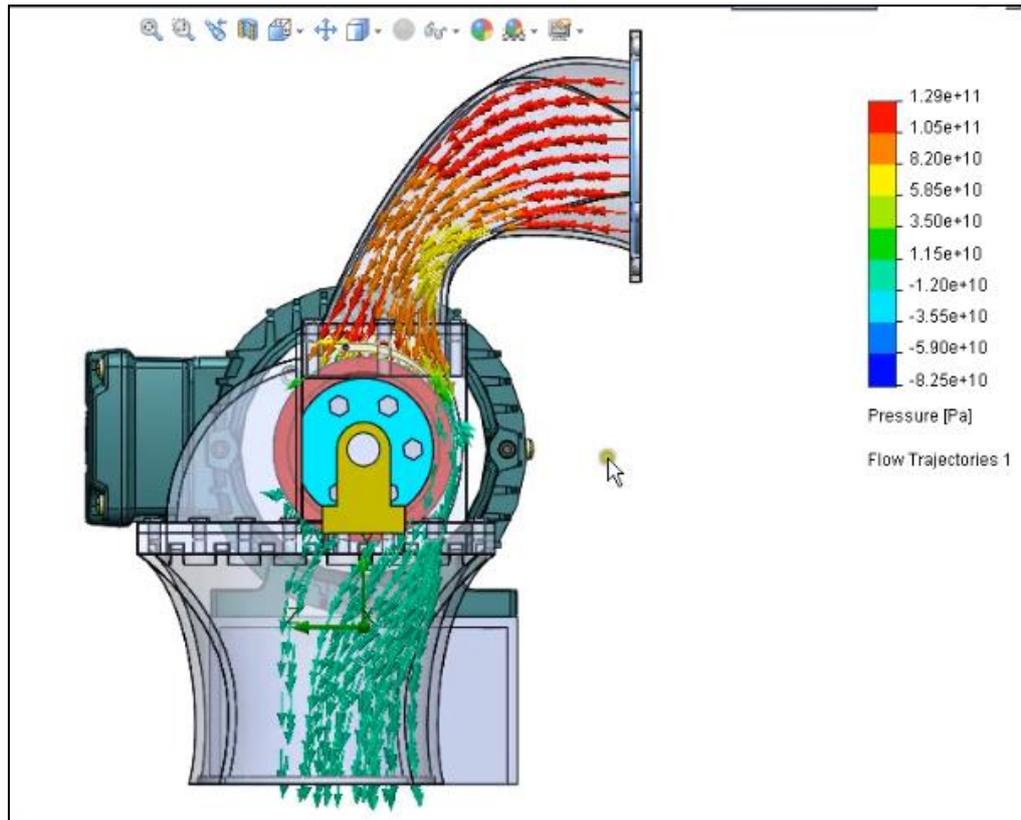


Figura N° 14: Turbina hidráulica Michell Banki de Pejeza

3.2. Determinación de las dimensiones y parámetros de operación de la turbina.

Tabla N°04: Datos de operación de la turbina en PEJEZA asumidos para el cálculo de las dimensiones

DATOS DE OPERACIÓN		
CAUDAL MINIMO	0,35	m ³ /s
CAUDAL MAXIMO	0,5	m ³ /s
POTENCIA NOMINAL	220	KW
CAUDAL DISEÑO	0,46	m ³ /s
TEMPERATURA	20	°C
DENSIDAD	998,2	kg/m ³
GRAVEDAD	9,81	m/s ²

VALORES PROMEDIOS PARA EL CALCULO			
a	0,95	0,95	0,95
φ	0,96	0,98	0,97
α_4	12	18	16

Tabla N°05: Resultados del cálculo de las dimensiones

Rendimiento		
η_{it}	0,864	adimensional
H DISEÑO	33,62	m
H	40,34	m
	28,24	m
Velocidades del flujo		
n (rpm)	720	
n_q	114,90	verificar entre 40 y 180
n_s	118,85	verificar entre 45 y 250
C4	24,916	m/s
U	12,960	m/s
DIAMETRO DEL RODETE (D)		
D	0,2997	m
DIAMETRO INTERNO DEL RODETE (Di)		
Di	0,174	m
Ancho del inyector		
Bi	0,23	M
B	0,30	M
Angulo	106,65	°
dmax	0,067	m
L	0,0337	m

3.3. Parámetros de operación de la turbina debido al Flujo:

A continuación, se presentan los resultados del análisis y simulación del flujo a través de la turbina, desde la entrada del inyector, su paso a través del álabe directriz y su doble contacto con el rodete de la turbina usando software DFC mediante el método de volúmenes finitos, para cada ángulo de ataque permisible de 0° , 15° y 30° . Se consideró una velocidad de rotación del rodete del 720 rpm equivalentes a 75.4 rad/s, con una presión de entrada tomada de las mediciones registradas en la instalación y para los caudales especificados.

En las siguientes tablas N° 06, 07 y 08 donde se muestran todos los datos arrojados por el software de simulación para los ángulos (0° , 15° y 30°), se configuró el solver para que se definan como goals los siguientes valores potencia mecánica, potencia hidráulica de entrada, torque en el rodete, rendimiento de turbina, así también, para comparación se muestran los datos reales del generador eléctrico como potencia eléctrica generada, torque, rendimiento total y rendimiento del generador, los cuales fueron obtenidos del registro de información de los operadores de la minicentral hidroeléctrica, que reportan diariamente, habiendo sido procesados en hoja de cálculo obteniendo valores de promedio de dichos registros.

Con los datos de la potencia activa y la potencia equivalente, se calcularon los torques efectivos del generador eléctrico, con los datos de la presión de entrada del flujo y del caudal de entrada se calcularon la potencia hidráulica y así se determinaron los rendimientos totales del turbogenerador.

También se muestran las variaciones porcentuales de los torques generados y los registrados, validando así los resultados determinando los mejores ángulos de ataque del álabe directriz que generaron un mejor rendimiento de la turbina hidráulica.

Tabla N° 06: Datos obtenidos por el software de simulación para un ángulo de ataque de 0°.

RESULTADOS DE ANALISIS BAJO UN ANGULO DE ATAQUE DE 0°								
Resultados de Análisis CAD CAE			Datos Reales Medidos					
Pot. Mecánica	Torque	Rendimiento	Potencia	Torque	Variación	Pot. Teórica	Rendimiento	Rendimiento
Generada Kw	Turbina Nm	Turbina	Eléctrica W	generador Nm	torque %	hidraulica Kw	total	Generador
31.20	413.79	0.26	28333.33	375.77	9.19	119.44	0.24	0.91
45.20	599.47	0.30	40000.00	530.50	11.50	149.01	0.27	0.88
48.70	645.89	0.29	46166.67	612.29	5.20	168.11	0.27	0.95
48.60	644.56	0.31	42333.33	561.45	12.89	157.80	0.27	0.87
47.50	629.97	0.30	42333.33	561.45	10.88	157.80	0.27	0.89
41.50	550.40	0.27	40833.33	541.56	1.61	151.29	0.27	0.98
56.80	753.32	0.29	54200.00	718.83	4.58	197.55	0.27	0.95
52.90	701.59	0.28	51857.14	687.76	1.97	188.03	0.28	0.98
52.70	698.94	0.30	50428.57	668.81	4.31	175.75	0.29	0.96
58.80	779.84	0.30	56857.14	754.07	3.30	194.71	0.29	0.97
52.40	694.96	0.31	50857.14	674.50	2.94	171.01	0.30	0.97
48.70	645.89	0.30	45000.00	596.82	7.60	162.82	0.28	0.92
47.80	633.95	0.28	46571.43	617.66	2.57	170.79	0.27	0.97
31.50	417.77	0.21	29800.00	395.23	5.40	147.36	0.20	0.95

Tabla N° 07: Datos obtenidos por el software de simulación un ángulo de ataque de 15°.

RESULTADOS DE ANALISIS BAJO UN ANGULO DE ATAQUE DE 15°								
Resultados de Análisis CAD CAE			Datos Reales Medidos					
Pot. Mecánica Generada Kw	Torque Turbina Nm	Rendimiento Turbina	Potencia Eléctrica Kw	Torque generador Nm	Variación torque %	Pot. Teórica hidraulica Kw	Rendimiento total	Rendimiento Generador
78.27	1038.10	0.54	72.3	958.44	7.67	144.95	0.50	0.92
97.80	1297.08	0.53	93.2	1236.07	4.70	183.75	0.51	0.95
99.80	1323.61	0.54	94.7	1255.53	5.14	185.78	0.51	0.95
87.50	1160.48	0.51	82.7	1097.26	5.45	171.46	0.48	0.95
98.70	1309.02	0.57	90.2	1196.29	8.61	172.38	0.52	0.91
92.10	1221.49	0.52	88.5	1173.30	3.94	176.96	0.50	0.96
103.60	1374.01	0.54	99.5	1320.07	3.93	193.33	0.51	0.96
105.30	1396.55	0.53	100.7	1335.73	4.35	198.47	0.51	0.96
112.30	1489.39	0.53	105.6	1401.10	5.93	212.33	0.50	0.94
113.20	1501.33	0.54	107.1	1420.99	5.35	209.08	0.51	0.95
99.80	1323.61	0.53	94.4	1252.37	5.38	186.98	0.51	0.95
89.50	1187.00	0.51	85.1	1129.22	4.87	174.46	0.49	0.95
88.40	1172.41	0.51	82.9	1098.90	6.27	173.92	0.48	0.94
68.55	909.14	0.50	63.4	840.28	7.57	137.10	0.46	0.92

Tabla N° 08: Datos obtenidos por el software de simulación para un ángulo de ataque de 30°.

RESULTADOS DE ANALISIS BAJO UN ANGULO DE ATAQUE DE 30°								
Resultados de Análisis CAD CAE			Datos Reales Medidos					
Pot. Mecánica	Torque	Rendimiento	Potencia	Torque	Variación	Pot. Teórica	Rendimiento	Rendimiento
Generada Kw	Turbina Nm	Turbina	Eléctrica KW	generador Nm	torque %	hidráulica Kw	total	Generador
66.30	879.31	0.45	64	848.81	3.47	148.40	0.43	0.97
89.70	1189.66	0.53	86.2	1143.24	3.90	168.00	0.51	0.96
88.50	1173.74	0.52	84	1114.06	5.08	170.10	0.49	0.95
68.60	909.81	0.46	65.6	870.03	4.37	150.65	0.44	0.96
82.10	1088.86	0.54	77.8	1031.83	5.24	150.95	0.52	0.95
84.50	1120.69	0.64	76.6	1015.92	9.35	132.40	0.58	0.91
104.50	1385.94	0.55	99	1313.00	5.26	189.69	0.52	0.95
105.40	1397.88	0.57	98.5	1306.37	6.55	184.95	0.53	0.93
105.60	1400.53	0.58	98	1299.73	7.20	182.53	0.54	0.93
115.40	1530.50	0.57	110	1458.89	4.68	202.45	0.54	0.95
78.50	1041.11	0.48	72.5	961.54	7.64	164.27	0.44	0.92
91.20	1209.55	0.57	86.25	1143.90	5.43	159.24	0.54	0.95
92.50	1226.79	0.55	86.5	1147.21	6.49	168.74	0.51	0.94
58.70	778.51	0.43	55	729.44	6.30	135.59	0.41	0.94

3.2.1. Desarrollo gráfico de los resultados de simulación en software para un ángulo de ataque de 0°.

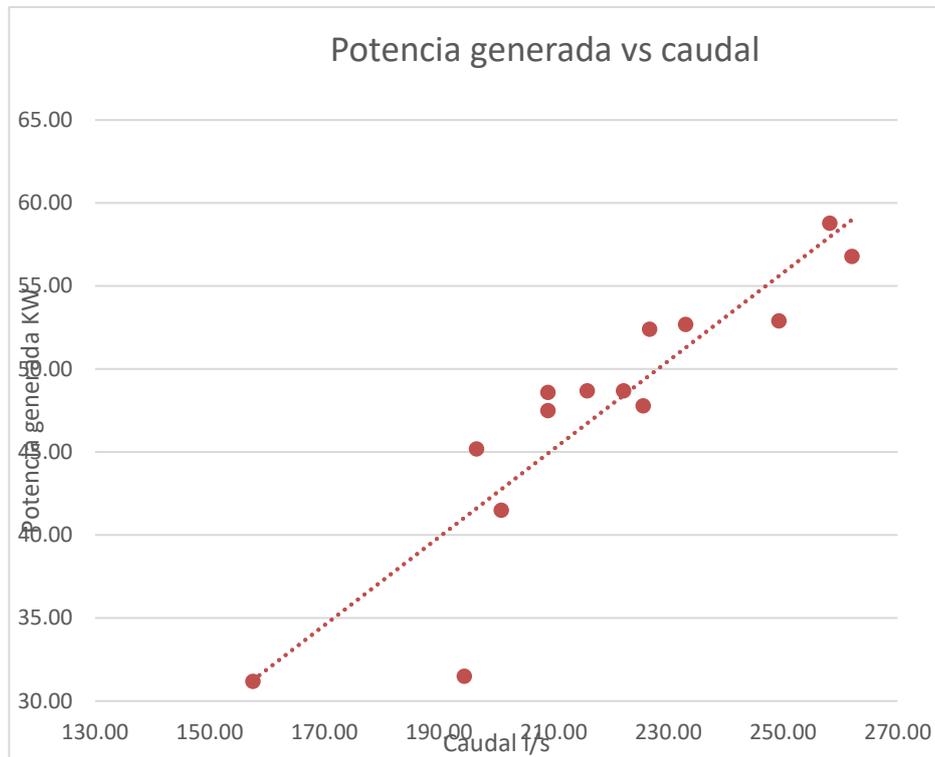


Figura N° 15: Potencia generada en rodete para ángulo de ataque de 0°.

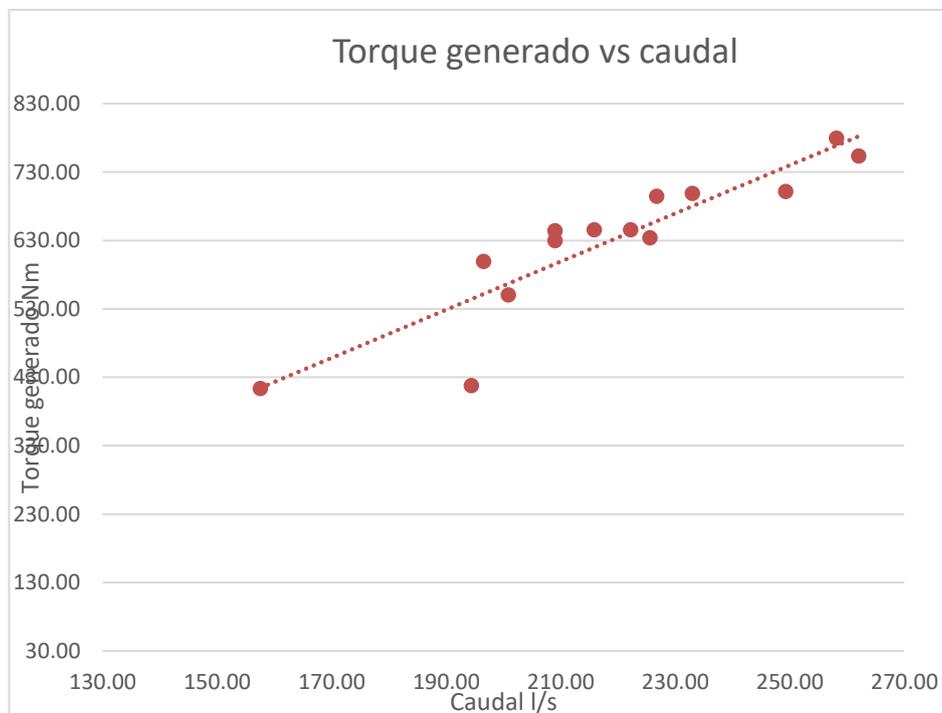


Figura N° 16: Torque generado en rodete para ángulo de ataque de 0°.

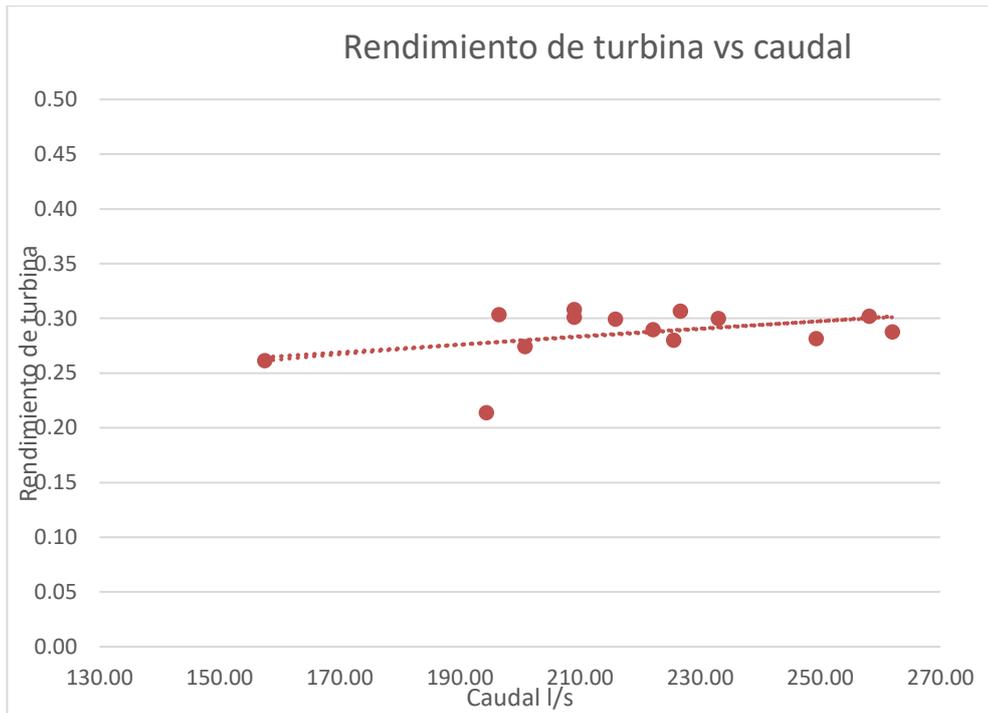


Figura N° 17: Rendimiento de turbina para ángulo de ataque de 0°.

3.2.2. Desarrollo gráfico de los resultados de simulación en software para un ángulo de ataque de 15°.

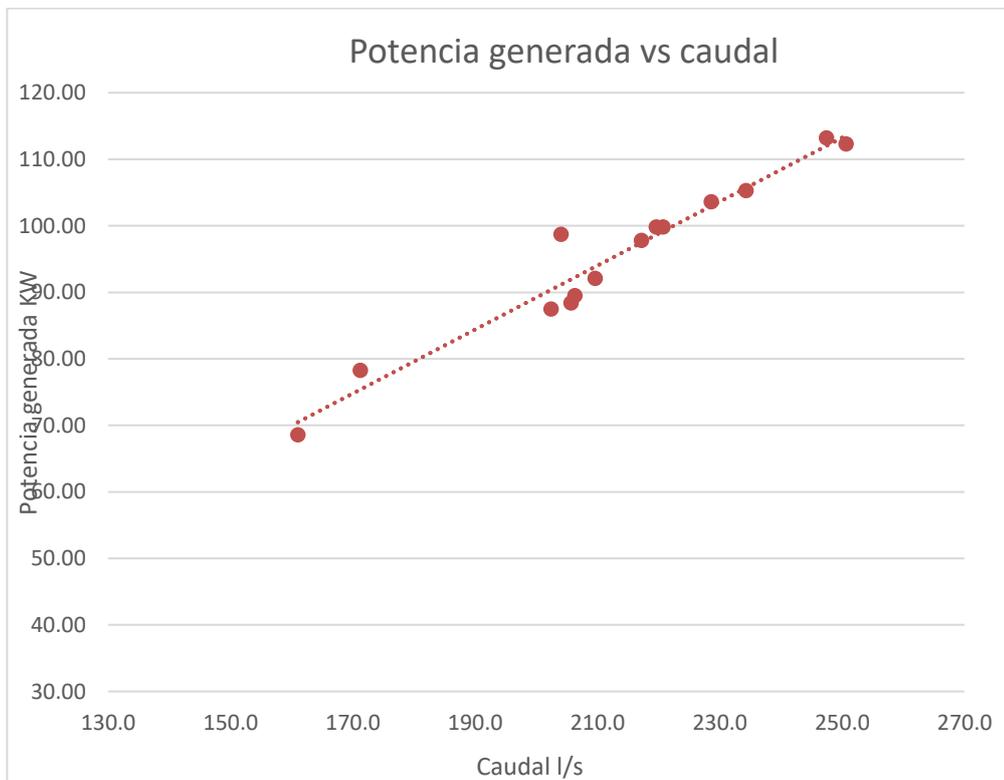


Figura N° 18: Potencia generada en rodete para ángulo de ataque de 15°.

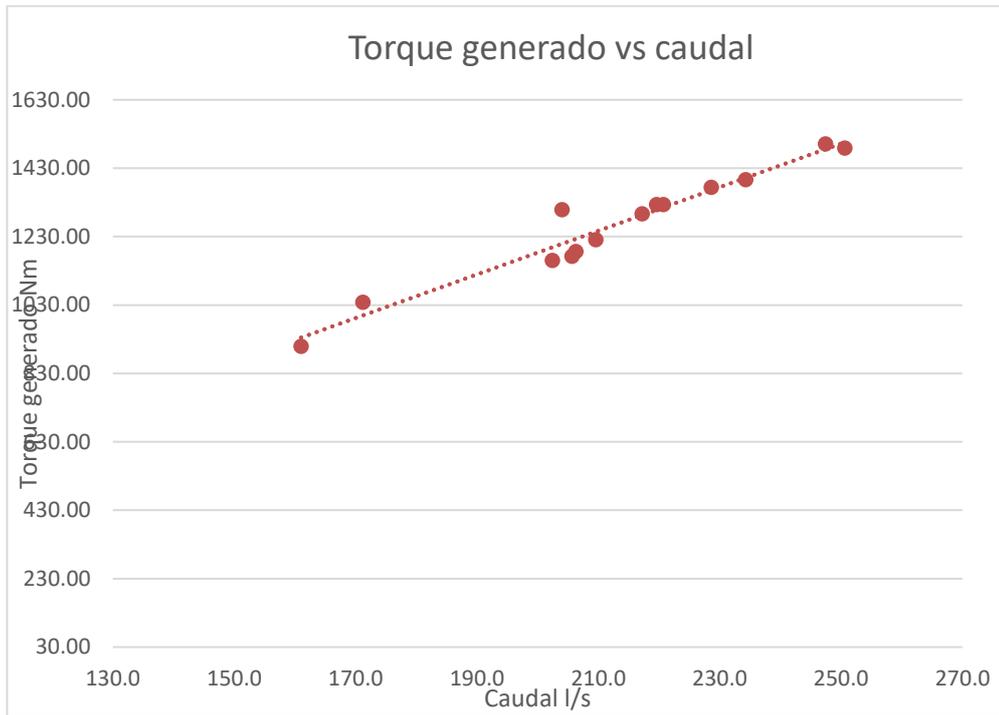


Figura N° 19: Torque generado en rodete para ángulo de ataque de 15°.

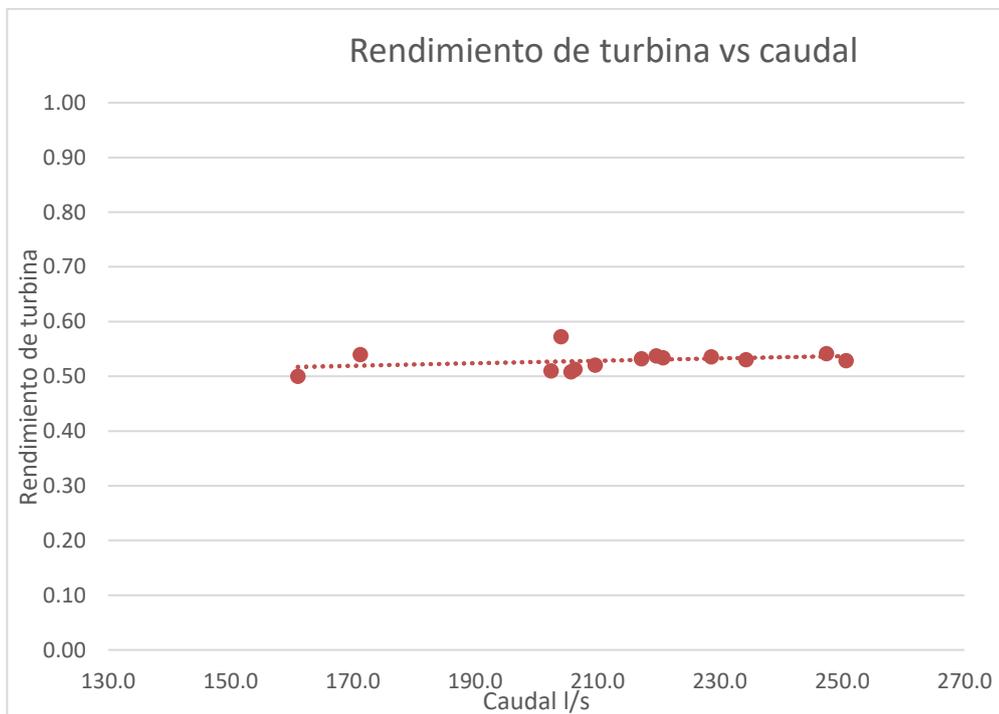


Figura N° 20: Rendimiento de turbina para ángulo de ataque de 15°.

3.2.3. Desarrollo gráfico de los resultados de simulación en software para un ángulo de ataque de 30°.

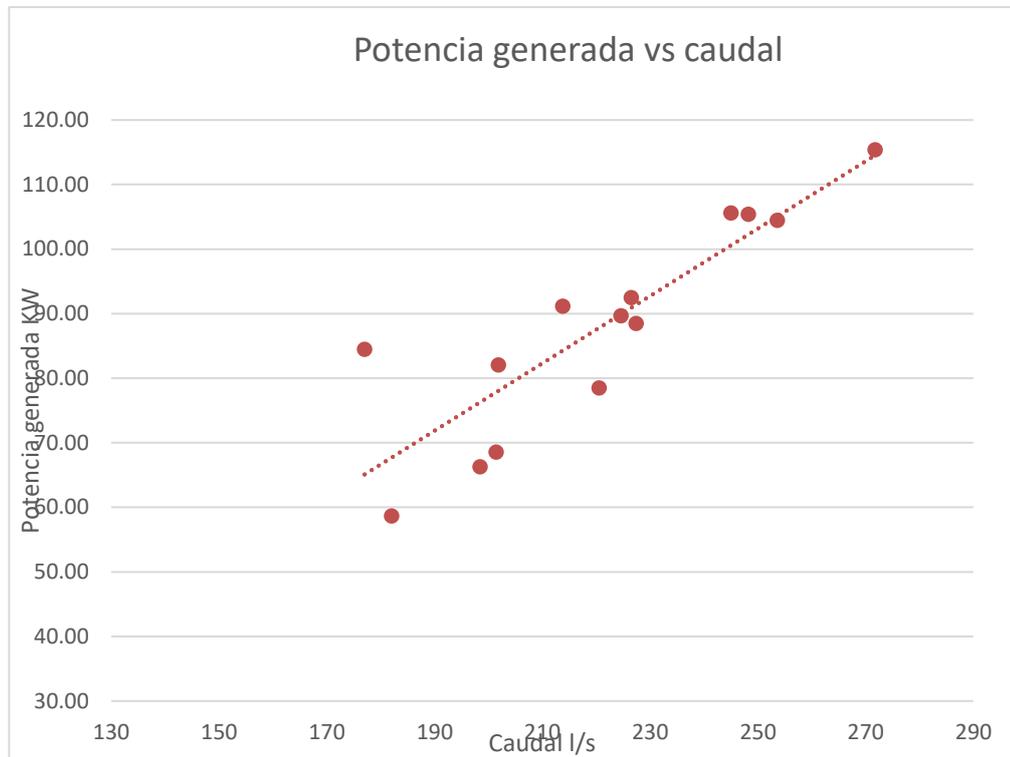


Figura N° 21: Potencia generada en rodete para ángulo de ataque de 30°.

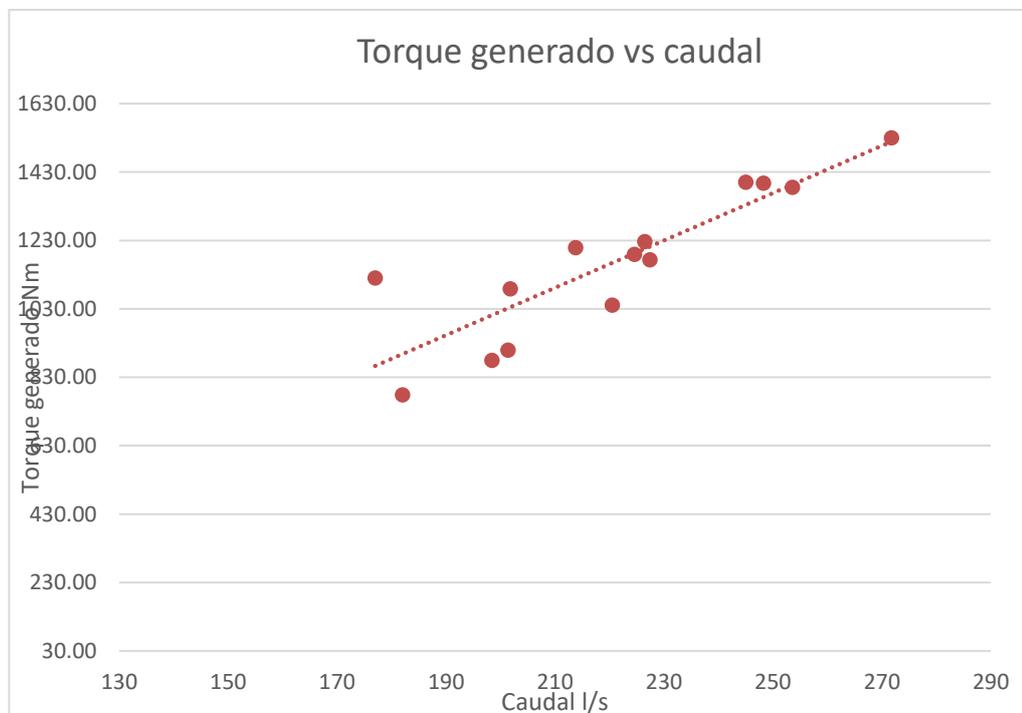


Figura N° 22: Torque generado en rodete para ángulo de ataque de 30°.

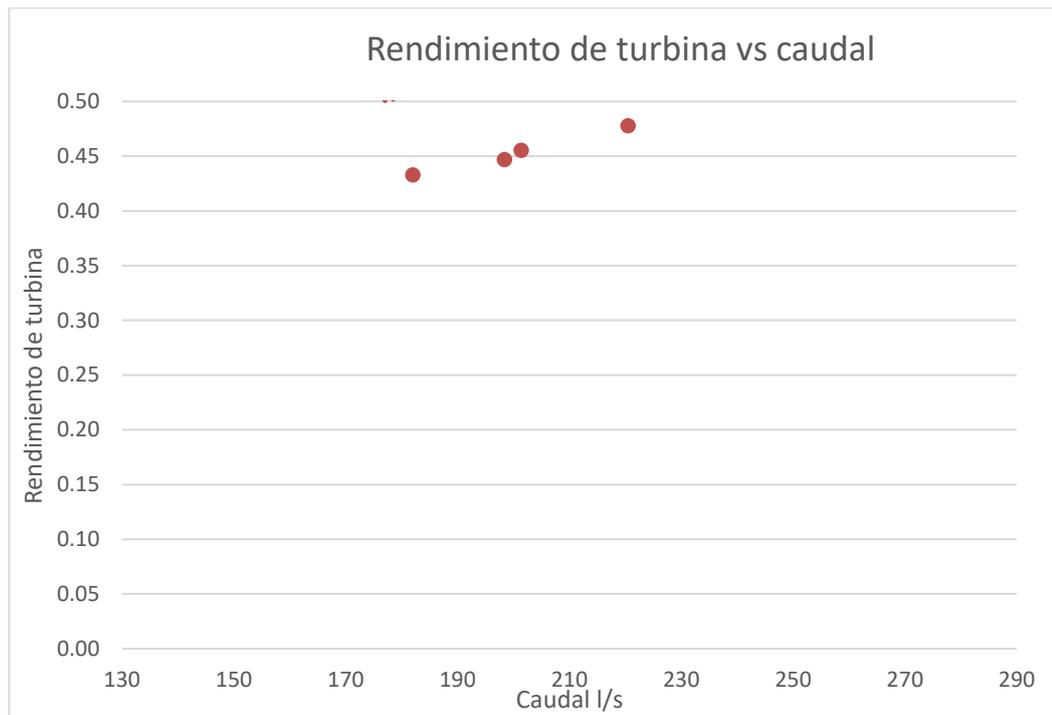


Figura N° 23: Rendimiento de turbina para ángulo de ataque de 30°.

3.4. Comparación de resultados de análisis CFD y datos medidos en la turbina para determinar la influencia de ángulos de ataque de álabe directriz:

A continuación, se muestran para un mismo rango de caudales de operación los valores obtenidos por simulación de los torques generados en el rodete y del torque resistente o requerido en el generador, relacionando de manera indirecta el rendimiento de la turbina.

Como se muestra en las figuras 24, 25 y 26, la diferencia entre los valores obtenidos por análisis y simulación usando software DFC, no son significativas, para un mismo caudal de operación, comparados con los valores medidos en los tableros eléctricos, resultando así, en valores confiables, que permitieron establecer por visualización del comportamiento del flujo, al modificar la posición del álabe directriz y cuantificado en sus valores de rendimiento de turbina.

3.4.1. Para un ángulo de ataque de 0°.

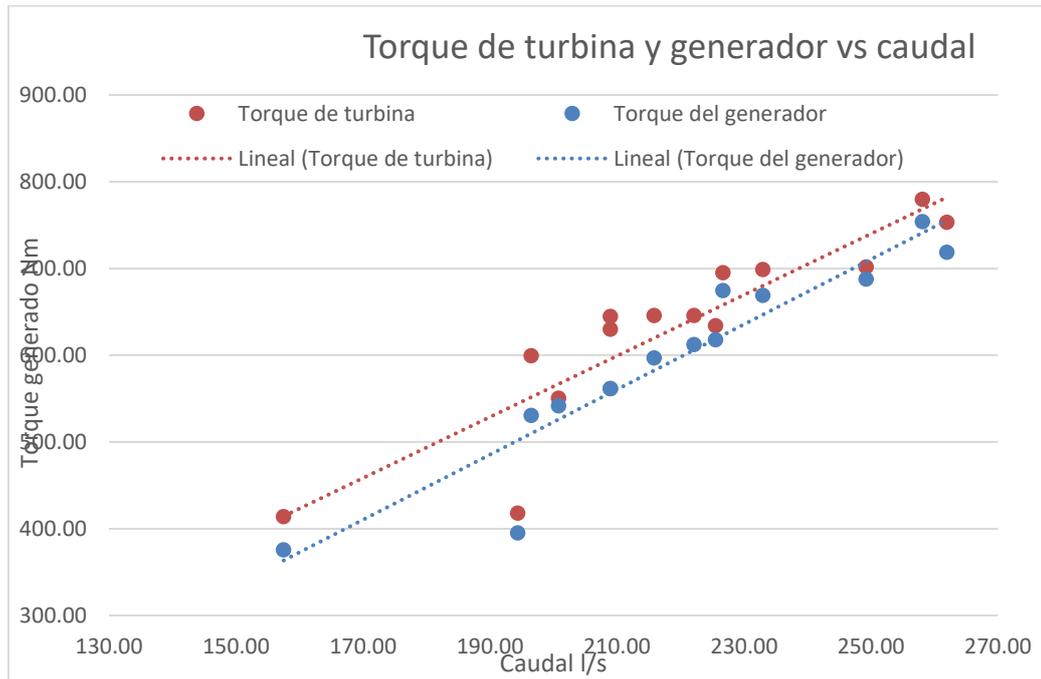


Figura N° 24: Torques para ángulo de ataque de 0°.

3.4.2. Para un ángulo de ataque de 15°.

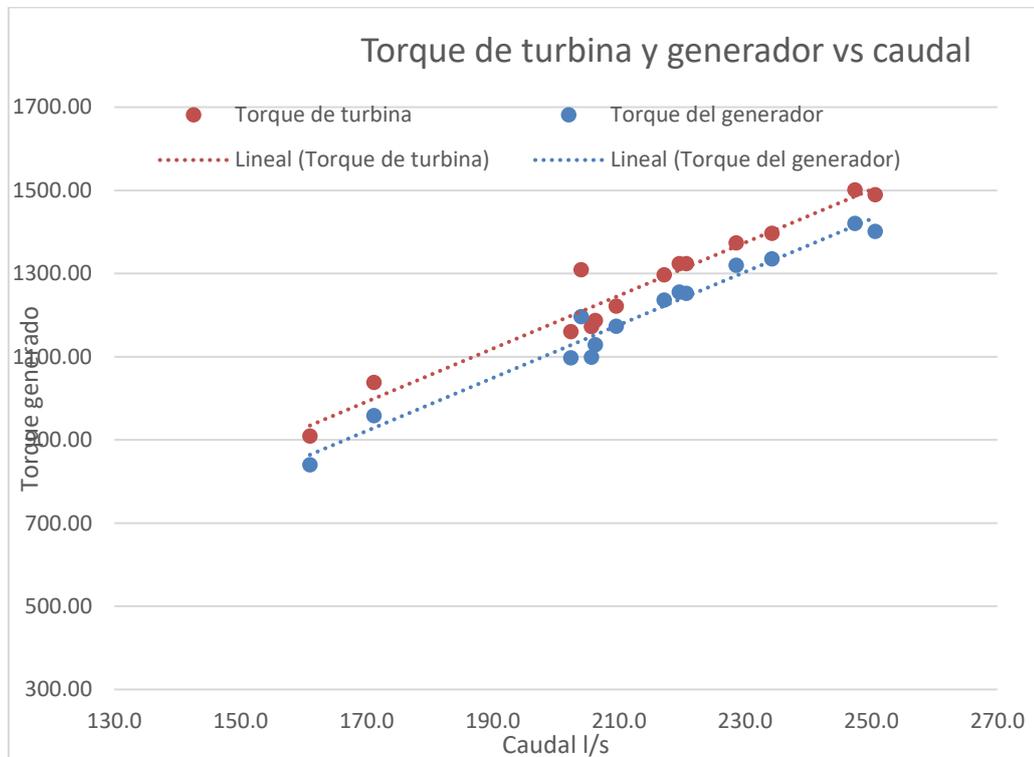


Figura N° 25: Torques para ángulo de ataque de 15°.

3.4.3. Para un ángulo de ataque de 30°.

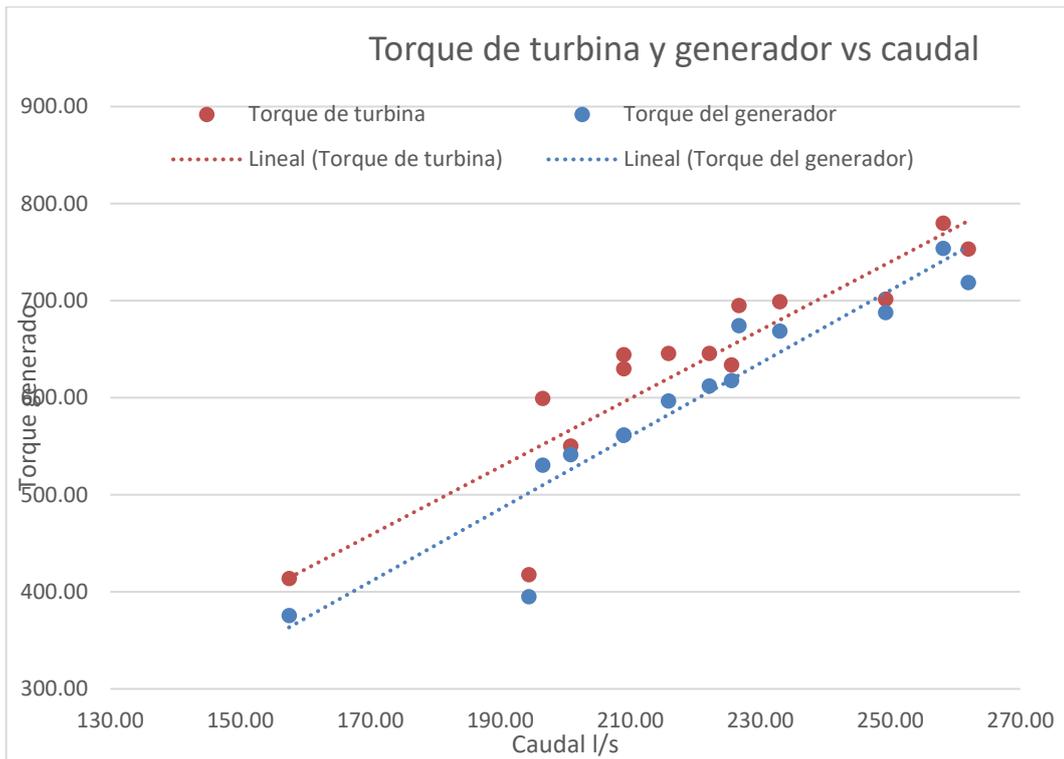


Figura N° 26: Torques para ángulo de ataque de 30°.

IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados hallados del análisis y simulación usando las técnicas DFC con el software solidworks flow simulación versión educativa, muestran que existe una influencia significativa de la variación del ángulo de ataque del alabe directriz, sobre la potencia generada en el rodete de la turbina hidráulica Michell Banki, tal como se observa en las tablas N°06, 07 y 08, donde se aprecia un aumento de esta potencia generada con el aumento del caudal, siendo mayor esta potencia generada en el rodete o potencia mecánica para un ángulo de ataque de 15°, comparando las gráficas de las figuras N°16, 19 y 22, obteniendo un valor máximo de 113.2 KW para un caudal de 247.4 l/s, y una potencia mínima de 68.55 KW para un caudal de 161 l/s, lo cual es coherente con Jara (2014), donde se muestra esta influencia directa con el caudal que atraviesa la turbina. Así mismo, esta influencia significativa del ángulo de ataque de 15° del álabe directriz se muestra en los valores medidos de la potencia eléctrica del generador que alcanza un valor máximo de 107.1 KW, superior a la alcanzada por el generador con un ángulo de ataque de 0° y 30°, disminuyendo significativamente a un mayor ángulo de ataque.

La ocurrencia de las máximas potencias generadas en el rodete y generador, sería por disponer de mejores ángulo de incidencia del flujo sobre el rodete y álabe directriz presentándose menores turbulencias o vórtices los cuales disminuyen la efectividad de la generación, coherente con la argumentación de Patiño (2017), como son los casos de generación bajo ángulos de ataque de 0° y de 30°, pues se dispone de una potencia hidráulica máxima de 209.08 KW, presentando los rendimientos de la turbina disminuyen a 54% y del turbogenerador a un 51%,

A mayor ángulo de ataque se mejora la entrada al rodete de la turbina, sin embargo, esto se ve perjudicado por los choques o impactos del flujo sobre la carcasa lo cual genera un cambio en la cantidad de movimiento del flujo y en la consecuencia caídas de presión, apareciendo sobre la carcasa vórtices rotacionales.

Para evaluar la validez de los resultados de la simulación computacional usando técnicas DFC, se comparan los torques generados en el rodete a diferentes caudales, lo cual se muestra en las gráficas de las figuras 24, 25 y 26, determinando que la variación porcentual de los torques generados en el rodete y el torque resistente en el generador, suministrado por el mismo rodete a la misma velocidad de rotación, no superan el 6%, lo cual valida los resultados de la simulación, logrando así establecer un patrón de análisis para elegir el mejor ángulo de ataque y su influencia en la potencia generada que tiene una relación directa proporcional con el torque generado, dado que el análisis se realizó a velocidad de rotación constante de 720 rpm. Se elige bajo este criterio de torque generado máximo, que el ángulo de ataque de 15° del álabe directriz ofrece mejor performance en el turbogenerador alcanzando potencias máximas en rodete y generador y máximos pero no óptimos, valores de rendimiento total, de turbina y de generador eléctrico.

V CONCLUSIONES

Se concluye de manera general que el ángulo de ataque del alabe directriz influye directamente sobre la potencia generada de una turbina hidráulica tipo Michell Banki, mostrado mediante las características fluidodinámicas del flujo analizado, identificados en los valores de rendimiento, torque y potencia generada.

- El ángulo de ataque de 15° , fue la posición del álabe directriz que ofrece un mejor comportamiento en la potencia generada en el rodete de la turbina hidráulica Michell Banki, con un valor máximo de 113.2 KW.
- El ángulo de ataque de 15° , fue la posición del álabe directriz que ofrece un mejor comportamiento en el torque generado en el rodete, con un valor máximo de 1501.33 N.m.
- El ángulo de ataque de 15° , fue la posición del álabe directriz que ofrece un mejor comportamiento en el rendimiento del turbogenerador, con un valor de 51%, ante la demanda de energía eléctrica requerida.
- Se logró verificar y determinar que para un ángulo de ataque de 15° , fue la posición del álabe directriz que ofrece un mejor comportamiento en la potencia eléctrica generada de la turbina hidráulica Michell Banki, con un valor máximo de 107.1 KW, un torque en el generador máximo de 1420.99 N.m., con un rendimiento máximo del generador de 96%.
- Los resultados del análisis computacional DFC son similares a los medidos directamente en el turbogenerador, con un margen de variación que no supera el 6%, valor aceptable de variación.
- Para los ángulos de ataque de 0° y de 30° , se muestran prestaciones débiles en la generación de potencia en el rodete de la turbina alcanzando potencias promedio generadas de 47.45 KW y de 87.96 KW respectivamente.

- Para los ángulos de ataque de 0° y de 30° , se muestran prestaciones débiles en la generación de torque en el rodete de la turbina alcanzando torques promedio generados de 629.31 Nm y de 1166.64 Nm respectivamente.
- Para los ángulos de ataque de 0° y de 30° , se muestran prestaciones débiles de baja eficiencia de la turbina alcanzando rendimientos promedio de 27 % y de 50 % respectivamente.

VI RECOMENDACIONES

- Se sugiere analizar la influencia del álabe directriz partido para evaluar la regulación del caudal de entrada o de la potencia generada.
- Se recomienda la instalación de un banco de condensadores para disminuir la energía reactiva en la instalación donde alimenta le generador eléctrico.
- Se recomienda evaluar la influencia de exigir al generador eléctrico operar a su potencia nominal y así disminuir los torques generados.

IV REFERENCIAS

Arellano Vilchez, Mario Alfonso. 2015. *"Geometría del álabe del rotor para mejorar el torque en una turbina Michell - Banki"*. Huancayo - Perú : s.n., 2015.

Aspilcueta Valderram, I. Martines y Juares Andrés, D. Porfirio. 2014. *"Modelamiento hidráulico de la mini central hidroelectrica del centro poblado de llopish - Ancash"*. trujillo : s.n., 2014.

Azis H. M. y Desai V.R. 1994. *"Parametric Evaluation of Cross-Flow Turbine Performance"* *Journal of Energy Engineering*. 1994. págs. 17 - 34.

Camones, Julio Cesar Egusquiza Goni y Julio Cesar Sanchez. *"Diseño de un banco de pruebas para turbinas Michell Banki para el laboratorio de energía de la Pontifica Universidad Católica sel Perú"*. Lima : s.n. Tesis de Grado.

Curriel C. y Asuaje M. 2009. *"Análisis de flujo interno de una turbina tipo Banki utilizando herramientas de la dinámica de fluidos computacional"*. Venezuela : s.n., 2009.

Energía, Organización Latinoamericana de. 1983. *"Manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroelectricas"*OLADE. 1983.

Goncalves de mello, Jr. 2007. *"Optimización del rndimiento de una turbina de flujo cruzado (Michell Banki) modificaciones mecánicas y adaptaciones costructivas realizadas"* 8° CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA. San Pablo, Brasil : s.n., 2007.

Gonzales Chabez S. y Cotacallpa Vera R. B. 2007. *"Modelamiento de parámetros de funcionamiento de la turbina hidráulica de flujo cruzado aplicando el método de los elementos finitos"*. 2007.

Khorowspanah S., Albertson M., and Fiuzat A. 1984. *"Historical overview of cross flow turbine"*. s.l. : Water Power y Dam, 1984.

Krishna N., Artes A., Widmer R. Y Eisenring M. 1993. *"Diseño y fabricaión de una turbina de flujo cruzado"*. Suiza : s.n., 1993.

Leiva J.R. 1985. *"Diseño de las ruedas Banki con tres módulos adaptada para la explotación de los pequeños potenciales hidráulicos de El Salvador"*. Universidad Centroamericana "Jose Simeón Cañas". San Salvador, El salvador : s.n., 1985. Tesis de Grado.

Marchegiani A. R. y Montiveros M. M. 2005. *"Efecto de la geometría del inyector en la turbina tipo Banki"*. CDF Inyector : s.n., 2005. págs. 1 - 6.

Marchegiani, Ariel R. 2008. *"Simulación numérica de flujo en una turbina tipo Banki"*. Buenos Aires : s.n., 2008..

Mirez, J. 2003. Figuras de la turbina Michell Banki. [En línea] 2003. [Citado el: 12 de junio de 2017.] <https://jmirez.wordpress.com>.

Norton, L.R. 2006. *Machine Design, An Integrated Approach*. 2006.

Pelaez Restrepo, Juan Diego. 2012. *"Estudio del funcionamiento y propuesta de rediseño de un prototipo de pico turbina Michell - Banki"*. 2012.

Scheurer, H. *"Small Water Turbines" IIschaft Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH*. Deutsche : s.n.

Shames, Irving H. *Mecánica de Fluidos*. 3ra Edición . s.l. : MC Graw Hill. pág. 825.

STATKRAFT PERU S.A. *"CENRALES HIDROELECTRICA GALITO CIEGO"*.

Totapally H. G., y Azis N. M. 1994. *"Refinement of Cross-Flow Turbine Desing Parameters"*. Journal of Energy Engineering. 1994. págs. 133 - 147.

Vásquez de León, José Daniel. 2007. *Micro - Hidroeléctrica tipo Michell - Banki funcionamiento, mantenimiento y componentes*. Guatemala : s.n., 2007.

Vera, Rommel Benjamin Cotacallapa. *"Influencia y validación de la modificación de principios que rigen el diseño de la Turbina Hidráulica de Flujo Cruzado"*. Tesis de Grado.

Yepez, Manuel Xavier Mestanza. 1987. *"Diseño, Construcción y Evaluación de una Turbina Hidráulica Tipo Michell Banki"*. Guayaquil - Ecuador : s.n., 1987. Tesis de Grado.

ANEXOS

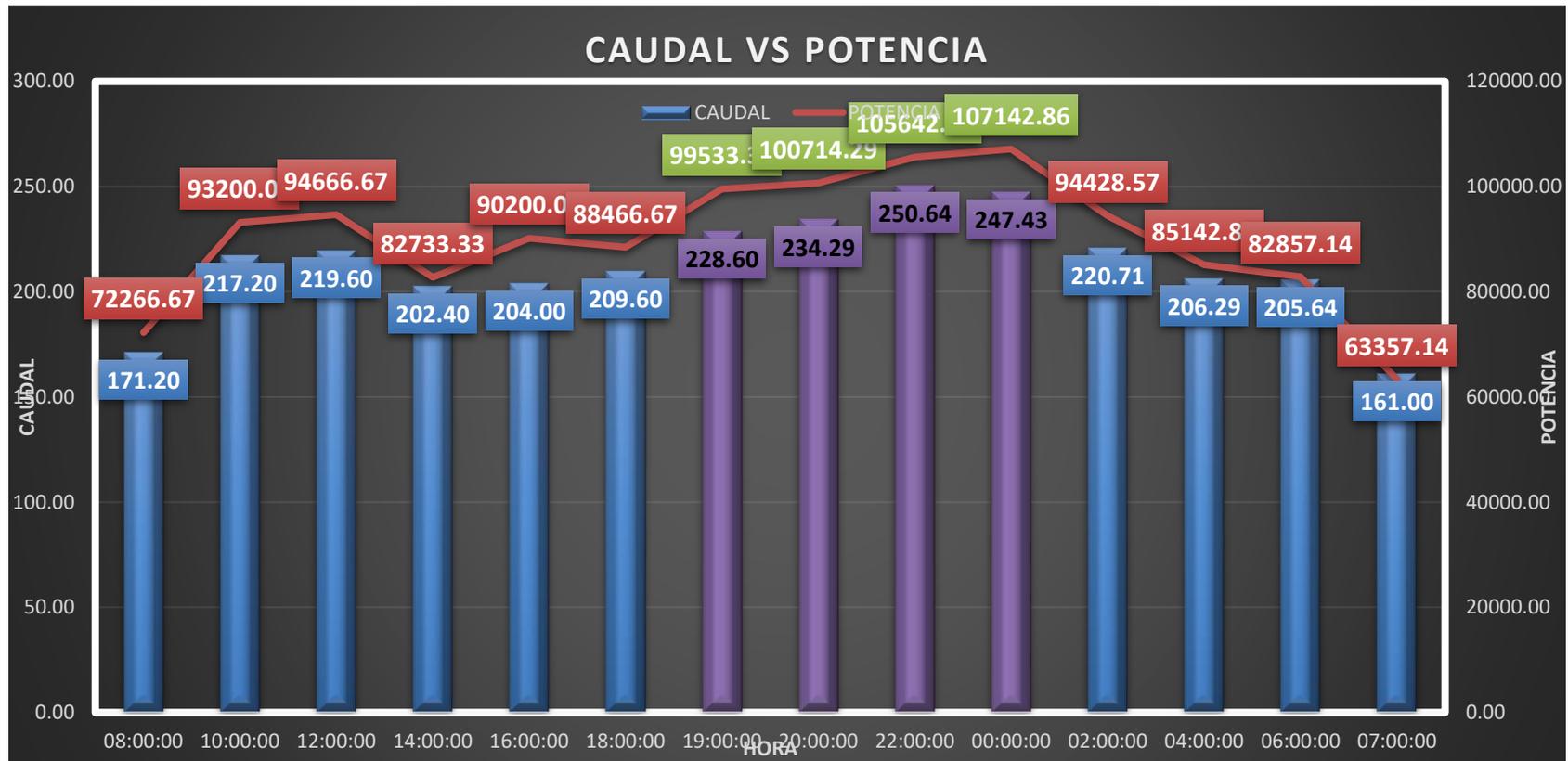
Anexo N°01: Fotografías de turbina hidráulica



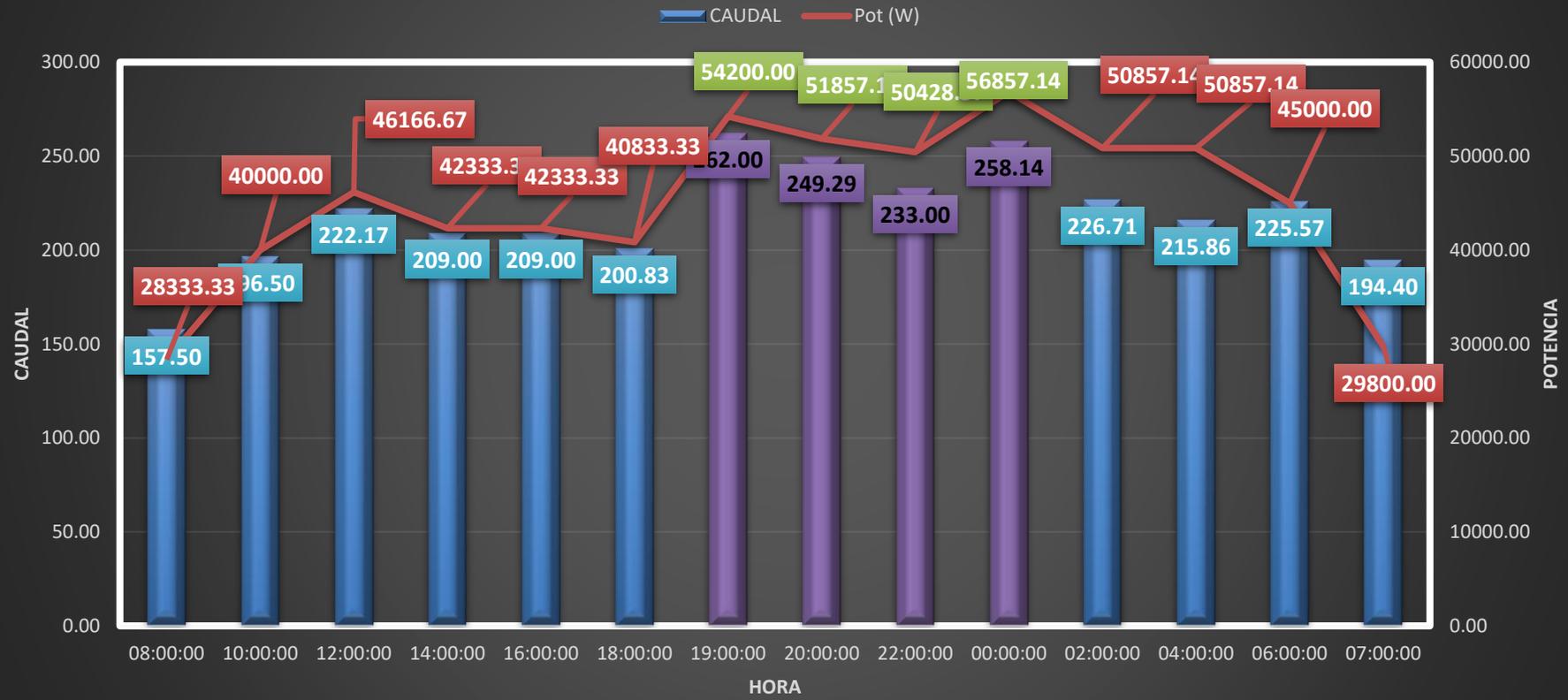
Anexo 02: Fotografías de proceso de toma de datos reales de operación



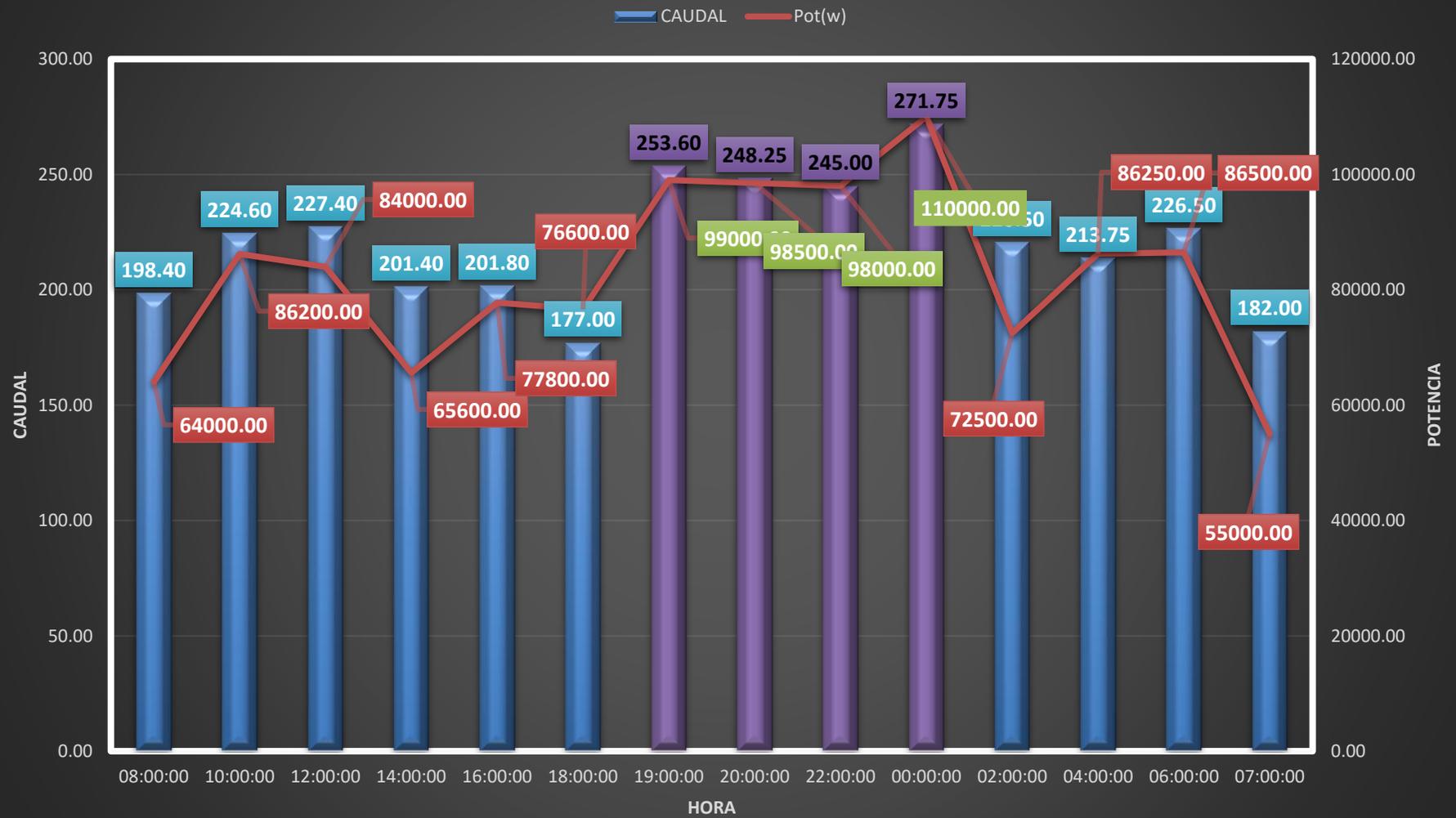
ANEXO 03: Gráficas de datos recopilados



CAUDAL-POTENCIA



CAUDAL VS POTENCIA



Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo **Luis Alberto Julca Verástegui**, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad César Vallejo Filial Trujillo, asesor del Trabajo de Investigación / Tesis titulada:

“INFLUENCIA DEL ANGULO DE ATAQUE DEL ALABE DIRECTRIZ SOBRE LA POTENCIA GENERADA EN UNA TURBINA MICHELL BANKI MINI CENTRAL HIDROELECTRICA GALLITO CIEGO”

Del autor **AREVALO RODRIGUEZ LENIN MARCIANO**, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 19% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender el trabajo de investigación / tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Trujillo 25 de Julio del 2022,

LUIS ALBERTO JULCA VERÁSTEGUI	
DNI: 19336932	 Firma
ORCID: 0000-0001-5158-2686	