

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA**  
**MECÁNICA ELÉCTRICA**



**Caracterización de los parámetros hidráulicos para el diseño de una  
central hidroeléctrica de 700 kW de potencia instalada, distrito de  
Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martín**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico  
Electricista

**Autor**

Montecinos Cueva, Yerson Noe

**Asesor**

Alva Julca, Ruber

**Código ORCID: 0000-0002-6206-278X**

**CHIMBOTE - PERÚ**

**2023**

## **Derecho de Autoría y Declaración de Autenticidad**

Quien suscribe, Yerson Noe Montecinos Cueva, con documento de identidad N°:72095016 autor de la tesis titulada “Caracterización de los parámetros hidráulicos para el diseño de una central hidroeléctrica de 700 kW de potencia instalada, distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martín” y a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad San Pedro, declaro bajo juramento que:

1.- La presente tesis es de mi autoría. Por lo cual otorgo a la Universidad San Pedro la facultad de comunicar, divulgar, publicar y reproducir parcial o totalmente la tesis en soportes analógicos o digitales, debiendo indicar que la autoría o creación de la tesis corresponde a mi persona.

2.- He respetado las normas internacionales de cita y referencias para las fuentes consultadas, establecidas por la Universidad San Pedro, respetando de esa manera los derechos de autor.

3.- La presente tesis no ha sido publicada ni presentada con anterioridad para obtener grado académico o título profesional alguno.

4.- Los datos presentados son reales; no fueron falseados, duplicados ni copiados; por tanto, los resultados que se exponen en la presente tesis se constituirán en aportes teóricos y prácticos a la realidad investigada.

5.- En tal sentido de identificarse fraude, plagio, piratería o falsificación asumo la responsabilidad y consecuencias que mi accionar deviene, sometiéndome a las disposiciones contenidas en las normas académicas de la Universidad San Pedro.

**Palabras claves**

Parámetros hidráulicos, central hidroeléctrica, turbina Francis.

**KEYWORD**

Hydraulic parameters, hydroelectric power plant, Francis turbine.

**ESPECIALIDAD:** Ingeniería Mecánica

**LINEA DE INVESTIGACION:**

**Facultad** : Ingeniería Mecánica

**Área** : Ingeniería y Tecnología

**Sub área** : Ingeniería Mecánica

**Disciplina** : Ingeniería Mecánica

**Línea de Investigación** : Sector Mecánica

**Título:**

**Caracterización de los parámetros hidráulicos para el diseño  
de una central hidroeléctrica de 700 kW de potencia  
instalada, distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache  
- San Martín.**

## Resumen

La finalidad que presentó el trabajo de investigación es caracterizar los parámetros hidráulicos más importantes para el diseño de una central hidroeléctrica de 700 kW de potencia instalada, para el distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache en el departamento de San Martín. La metodología de investigación es un diseño no experimental, descriptivo - transversal, tipo cuantitativa, se evaluó los parámetros hidráulicos (variable independiente) para el diseño de una central hidroeléctrica (variable dependiente). Se evaluó el potencial hídrico de la cuenca proveniente del río Pacota ubicado en el distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martín, el análisis hidrológico de la Cuenca del río PACOTA se realizó mediante el modelo hidrológico, para el periodo de 20 años el caudal neto o caudal de diseño es de  $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Se evaluó los servicios de energía eléctrica en el distrito obteniéndose que la población aumenta desde 11514 hasta 12111 con una tasa poblacional de 0.2531% esto implica que la demanda de energía es de crecimiento lineal y aumenta aproximadamente 1 kW por cada año hasta una cantidad de 241.1 kW, según la evaluación de otras poblaciones de 10000 a 20000 habitantes requiere una demanda de potencia de 500 a 1200 kW. Se realizó los cálculos de los equipos principales componentes de la Central Hidroeléctrica para las condiciones de poca caída (41.76 m) y caudal considerable ( $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) se determinó una turbina Francis de rodete rápido de eje horizontal cuya potencia en el eje es de 811.14 kW y una potencia en los bornes del generador eléctrico de 705.7 kW y 900 rpm para ello se determinó las dimensiones geométricas de la carcasa, distribuidor, tubo de succión. Se determinó los componentes eléctricos obteniéndose un generador eléctrico de polos salientes, frecuencia de 60 Hz, 900 rpm, y 4 pares de polo, el tablero de control y protección y el sistema de protección del sistema constará de un transformador de potencia cuya Potencia Nominal 700 KVA; 22,9 / 0,38 Kv, las corrientes de cortocircuito en alta tensión 10.1 kA y baja tensión 19 kA. El sistema de protección de la subestación es tipo malla a tierra el cual garantiza la protección personal y medio de disipación de corrientes.

## Abstract

The purpose of the research work is to characterize the most important hydraulic parameters for the design of a hydroelectric plant with 700 kW of installed power, for the district of Nuevo Progreso, province of Tocache in the department of San Martin. The research methodology is a non-experimental, descriptive - cross-sectional, quantitative type design, the hydraulic parameters (independent variable) were evaluated for the design of a hydroelectric power station (dependent variable). The water potential of the Pacota river basin from the one located in the district of Nuevo Progreso, province of Tocache - San Martin was evaluated, the hydrological analysis of the PACOTA river basin was carried out through the hydrological model, for the period of 20 years the Net flow is 1,748 m<sup>3</sup> / s, in addition to a demanded flow of 0.5 m<sup>3</sup> / s, during 10hours of operation, obtaining a total available for the design of 2.2 m<sup>3</sup> / s. The electric energy services in the district were evaluated, obtaining that the population increases from 11514 to 12111 with a population rate of 0.2531%, this implies that the energy demand is linearly growing and increases approximately 1 kW per year up to an amount of 241.1 kW, according to the evaluation of other populations of 10,000 to 20,000 inhabitants requires a power demand of 500 to 1,200 kW. The calculations of the main component equipment of the Hydroelectric Power Plant were made for the conditions of low head (41.76 m) and considerable flow (2.2 m<sup>3</sup> / s), a Francis turbine with a fast horizontal axis impeller was determined whose power in the axis is of 811.14 kW and a power at the terminals of the electric generator of 705.7 kW and 900rpm. For this, the geometric dimensions of the casing, distributor, and suction tube were determined. The components were determined, obtaining an electric generator of salient-pole synchronous generators, frequency of 60 Hz, 900 rpm, and 4 pole pairs, the control and protection board and the protection system of the system consisting of a power transformer whose Power Nominal 700 KVA; 22.9 / 0.38 Kv, short-circuit currents in high voltage 10.1 kA and low voltage 19 kA. The substation protection system is a ground mesh type which guarantees personal protection and a means of dissipating currents.

# Índice

Palabras claves .....	i
Título de la investigación.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract .....	v
Índice .....	vi
I. Introducción.....	1
II. Metodología.....	41
III. Resultados.....	44
IV. Analisis y discusion .....	71
V. Conclusiones.....	73
VI. Recomendaciones .....	75
VII. Rerefencias bibliograficas.....	76
VIII. Agradecimientos .....	79
IX. Anexos y apendices .....	80

## I. Introducción

La municipalidad distrital de Nuevo Progreso, tiene previsto el estudio y evaluación para la creación de una presa en la cuenca del río Pacota para el afianzamiento hídrico de la central hidroeléctrica El Vuelo del Ángel del distrito de nuevo progreso provincia de Tocache – San Martín, asimismo proyectar la construcción y operación del proyecto que generará energía limpia a través de la construcción de una central hidroeléctrica de 700 kW. ubicada en la cuenca del río Pacota.

Basado en ese objetivo principal del proyecto es la generación y transformación de energía eléctrica que abastecerá a la población beneficiaria del distrito de Nuevo Progreso realizando la conexión a algunas líneas de media tensión existentes de la concesionaria Electro Tocache S.A, además tiene proyectado posteriormente electrificar las 37 localidades que pertenecen al distrito de nuevo progreso con una tarifa aceptable regulada por el COES SINAC(Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional) y así mejorar la calidad de vida de los pobladores circundantes y la comunidad del distrito de Nuevo Progreso.

La idea de la investigación planteada nace justamente frente al poco interés que presta la empresa concesionaria de servicio eléctrico Electro Tocache S.A. En brindar energía eléctrica a los centros poblados alejados, los cortes del servicio eléctrico intempestivo, la falta de mantenimientos en sus redes de media y baja tensión, en la poca inversión de alumbrado público y los excesivos costos de facturación a los usuarios individuales, sumado a ello la red de media tensión está en un estado de deterioro generando así los cortes del servicio de manera constante.

Además, el sistema administrativo de la empresa concesionaria es netamente ineficiente debido que la empresa Electro Tocache S.A. es una empresa municipal con injerencia política siendo así el factor determinante de la ineficiencia del servicio. A fin de poder potencializar la energía eléctrica en el

distrito de Nuevo Progreso y poder contar con energía propia es que la propuesta de la evaluación debe contemplar todos los componentes y aspectos, para el afianzamiento hídrico de la zona. De esta manera poder tener elementos de juicio para una óptima evaluación y proyección del estudio así poder justificar ante la entidad correspondiente la importancia de concretizar un estudio de pre inversión y estudio definitivo.

Ubicación Geográfica, “el distrito peruano de Nuevo Progreso es uno de los cinco distritos que conforman la Provincia de Tocache en el Departamento de San Martín, perteneciente a la Región de San Martín en el Perú”, mostrado en la tabla 1.

**Tabla 1**  
*Ubicación geográfica de la zona de estudio*

<b>Localización Geográfica</b>	
Departamento /Región:	SAN MARTIN
Provincia:	TOCACHE
Distrito:	NUEVO PROGRESO
Localidad	PACOTA
Región Geográfica:	SELVA
Ubigeo	221002

Fuente: Elaboración propia.

La localidad de Pacota se ubica en el distrito de Nuevo Progreso, Provincia de Tocache, departamento de San Martin, es importante indicar que el distrito al igual que toda la provincia forma parte de la selva del Perú, el objetivo es obtener financiamiento para la inversión en sistemas de generación de energía. El área de investigación se proyecta que se ubique geográficamente en esta zona por el acceso a fuente hidráulica, además el proyecto de la infraestructura se ubica a una altitud aproximada de 875 m.s.n.m. cuyas coordenadas UTM: N/9077291.405, E/367882.003. La ubicación geográfica de la fuente de captación hídrica del Manantial Pacota, es la mostrada en la tabla 2, cuya captación es de 0.922 l/s.

**Tabla 2***Coordenadas de las Fuentes de Captación Sistema UTM con Datum WGS84*

<b>UBICACIÓN DE LOS BMS</b>				
	COORDENADAS		ELEVACIÓN	DESCRIPCIÓN
	ESTE	NORTE		
<b>BM-01</b>	367844.182	9077253.466	874.159	Hito con pintura en roca fija al ras del terreno.
<b>BM-02</b>	367882.003	9077291.405	875.873	Hito con pintura en roca fija al ras del terreno.

Fuente: Elaboración propia.

El distrito de Nuevo Progreso es uno de los cinco distritos que pertenecen a la provincia de Tocache, departamento de San Martín, y que está bajo la supervisión del Gobierno Regional de San Martín. Este distrito se ubica al sur del distrito de Tocache, al margen del río Huallaga, y cuenta con 37 localidades.

De acuerdo al Meridiano de Greenwich se encuentra ubicada entre los paralelos siguientes:

Latitud Sur : 08°26'58.86"

Longitud Oeste : 76°20'1.15"

Los límites de la zona de estudio son los siguientes:

Por el Sur : Con el Departamento de Huánuco.

Por el Norte : Con el Distrito de Uchiza.

Por el Este : Con el Departamento de Huánuco.

Por el Oeste : Con el Departamento de Huánuco



*Figura 1.* Localización geográfica departamental, distrital y micro localización de la zona de investigación

Fuente: Elaboración propia

Es importante en nuestra investigación seleccionar los antecedentes, aquellos trabajos previos que proporcionan un óptimo panorama con referencia al tema investigado, se revisaron diferentes fuentes vinculadas con las variables, teniendo en cuenta el fundamento transcendental para el estudio.

Se realizó una revisión de la bibliografía para un mejor panorama y conocimiento del tema de estudio, respecto al diseño de los componentes principales de una central hidroeléctricas, podemos mencionar entre ellas a Asenjo (2018), en su tesis titulada: *“Repotenciación de la minicentral hidroeléctrica la playa ubicada en el distrito de Incahuasi provincia de Ferreñafedepartamento de Lambayeque”* el objetivo principal de este trabajo fue rediseñar la pequeña central hidroeléctrica para aumentar la capacidad instalada actual para cumplir con los criterios de diseño y los estándares existentes para brindar un servicio eléctrico de calidad a los pequeños pueblos alrededor de 07. El resultado se logró en el río Tungula con un disponible caudal de 0,9 m<sup>3</sup>/s, donde actualmente utilizan 0,16 m<sup>3</sup>/s con 48 m de altura neta para generar 50 kW dejando 0,74 m<sup>3</sup>/s. ahora se requiere suministrar 100 kW de electricidad en 20 años, lo que requiere duplicar el flujo, es decir El caudal de diseño del rediseño de la mini central hidroeléctrica La Playa será de 0,32 m<sup>3</sup>/seg. Los componentes utilizados para el funcionamiento de la pequeña central hidroeléctrica son también: Tuberías de PVC - CE 7,5, diámetro 250 mm, turbina Michel Banki con inyectores de 02.600 RPM, con generador de potencia de eje de 125 kW, síncrono, trifásico, potencia aparente 137,5 kVA, generando voltaje 380/220 V, controlador de carga electrónico, absorción de potencia 100 kW. Finalmente, el Presupuesto que involucra la repotenciación asciende a S/. 235169,27.

Además, es importante resaltar el aporte de **Mamani (2017)**, en su artículo titulado: *“Estudio y diseño a nivel de perfil de una central hidroeléctrica en el río blanco, distrito de san gabán, provincia de Carabaya, departamento de Puno”*. El objetivo principal fue determinar el incremento de potencia y energía en el SEIN con la instalación de la Central Hidroeléctrica Yuraq. Los resultados

obtenidos en este estudio demuestran que la subcuenca Río Blanco ofrece un consumo de 6,73 m<sup>3</sup>/s, para un aguante del 75,0%, en un salto bruto de 439,15 metros. La Central Hidroeléctrica Yuraq incluirá obras de captación, con una capacidad de hasta 125,5 m<sup>3</sup>/s por un período de 1.000 años, obras de conducción, 6.200 metros de longitud, conducto de tensión, 495,6 metros, produciendo conjuntos de turbina Pelton y generador síncrono y línea de transmisión de 138 KV de 25 km hasta la Subestación San Gabán II. Además, concluyeron que el proyecto planteado en la investigación es rentable acogiendo a los beneficios fiscales, propio de las centrales RER, con indicadores económicos de VAN, para una tasa de descuento de 12%, de 4.332 millones de USD y TIR de 13.18%.

En esa misma línea **Gutiérrez (2016)** en su tesis titulada: “*Diseño de una mini central hidroeléctrica, para suministrar energía al recreo turístico La Catarata – distrito, provincia - Jaén, departamento - Cajamarca -2016*”, tuvo como objetivo desarrollar una mini Central Hidroeléctrica. Los resultados que obtuvo fue que la edificación de la mini central incorpora un costo proporcionalmente bajo por kilovatio relacionado a la preservación y a la disposición de toda una edificación civil hasta antes de la cámara de carga, además se seleccionó la turbina Michell Banki pues se vincula a un diagnóstico de su funcionalidad específica, siendo considerado como adaptable a las circunstancias de altura y caudal, por otro lado se relaciona con el costo de fabricación es más bajo frente a una turbina Kaplan o Francis. Las conclusiones fueron para diseñar una mini central hidroeléctrica es importante el estudio de la maximización de la demanda que se va a consumir en una zona o local a electrificar, así como para la construcción se garantiza una generación de energía eléctrica limpia, respetando la contaminación del medio ambiente, a bajo costo, con una utilidad rentable a corto plazo.

Respecto a las investigaciones relacionadas con los parámetros hidráulicos de la central hidroeléctrica, podemos mencionar a **Canchaya y Chero (2014)** en su tesis titulada: “*Estudio y diseño a nivel preliminar de una pequeña central hidroeléctrica en el distrito de Comas, provincia de Concepción perteneciente al*

*departamento de Junín*”, el objetivo pasó a ser evaluar su rentabilidad en tres posibles eventualidades, en las que se buscará cubrir una primera convocatoria y, de ser factible, contribuir con la reducción del déficit energético que presenta el lugar. Las consecuencias adquiridas muestran que la PCH, al ser parte del proyecto de crecimiento de la distribuidora local de leves, cumple con los principales objetivos trazados: el deleite de la población de la metrópoli estudiada y la rentabilidad del emprendimiento de venta de fuerza a los grandes clientes del lugar logrando valores teóricos de una TIR de 38.1% y un VAN de \$2,760,682.30. Por la topografía y la capacidad hídrica, existe la posibilidad de implementar una red de PCH dentro de la cuenca del río Huaruchaca, con la cual se podría ejecutar un mayor desempeño por el encauzamiento y aprovechamiento de agua turbinada de manera secuencial.

Es importante mencionar a **Rojas y Arteaga (2014)**, en su tesis titulada: *“Diseño de una micro central hidroeléctrica para el análisis del costo final de la energía eléctrica para un centro poblado. Caso Rurashca, Ancash”*, Su objetivo se convierte en la tecnología de la electricidad eléctrica teniendo como fluido de circulación el recurso hídrico. Las consecuencias recibidas en el lugar donde se ubicaría la obra civil, con los hechos aportados por los ciudadanos, nos dirigimos hacia el lugar de captación del canal. El lugar de la toma podría ser un factor de acumulación de la ayuda hídrica, para la captación esencial, se pretende ampliar el canal imperante para conducir el flujo de agua vital para fines de riego dentro del lugar y generación de energía. El desarenador y la cámara de carga estarán ubicados en un pico de 2300 msnm, cuya causa puede ser decantar los escombros de 200 mm y 300 mm. La tubería de tensión podría tener una altura disponible de 20,35 m, del reflejo de agua de la cámara de carga, realizando un deslizamiento de agua para la generación de energía eléctrica de 0,20 m<sup>3</sup>/s y un diámetro de tubería de 20". Fin de los autores Para el equipo electromecánico, será una Turbina Míchell Banki de cuarenta y dos KW de energía de eje, con la intención de transmitir su velocidad a través de correas tipo V, modelo B103 al generador de 30 KVA, 2 polos de sección única, que opera a una frecuencia de 60hz.

Finalmente, **Chuque y Ayllon (2012)**. En su tesis titulada: “*Estudio técnico y económico del potencial hidro energético de la cuenca de Lircay para la instalación de una central hidroeléctrica de 9100 KW, Angaraes-Huancavelica*”, Su objetivo fue realizar un estudio para la instalación de una central hidroeléctrica a través de un estudio técnico y económico, con el fin de cumplir con los deseos de los habitantes que se encuentran aislados en esta zona. Los resultados en cuanto a la energía eléctrica generada por la central hidroeléctrica LIRCAY es mínimo con agradecimiento al llamado nacional por pertenecer al sistema eléctrico interconectado, la energía eléctrica que se espera generar anualmente es de 78.000 MWh. Además, el uso eficiente de las fuentes de agua permite una secuencia de bienes y ofertas consistentes en riego, hidroelectricidad, seguridad ambiental a través de iniciativas hidráulicas que actualmente cuentan con numerosos sectores del país. Concluyeron que la turbina seleccionada fue Francis de eje horizontal (2unidades), para un caudal de diseño de 6 m<sup>3</sup>/s y una altura neta de 220 m, la tubería que transportará el agua será de 60” con longitud de 145 m.

La construcción del estudio tiene por objetivo primordial de caracterizar los parámetros hidráulicos para el diseño de una central hidroeléctrica de 700 kW, en base a ello resaltar la importancia de desarrollar este proyecto de investigación para poder interconectar eléctricamente a la población de las 37 localidades del distrito de Nuevo Progreso a fuentes de energía confiables y eficientes, además del desarrollo socioeconómico y productivo de este distrito, ubicado en la provincia de Tocache – San Martín. La justificación de esta investigación está identificada según los medios directos e indirectos y podemos indicar a los siguientes:

Medios directos o primer nivel:

- Aprovechamiento de los sistemas eléctricos próximos al área de estudio o influencia del proyecto.
- Mejoramiento de la calidad de vida de toda la población beneficiaria de la minicentral hidroeléctrica ubicada en el distrito de Nuevo Progreso.

Medios indirectos o segundo nivel:

- Disponibilidad de infraestructura eléctrica para conectarse a las redes eléctricas más cercanas.
- Rentabilidad social positiva de los proyectos de electrificación rural.
- Incremento de los niveles de carga y consumo en zonas rurales.

Además, la importancia de nuestra investigación se pudo agrupar en las siguientes justificaciones:

*Justificación Social*, debido a la reducida disponibilidad de infraestructura eléctrica para conectarse a las redes eléctricas más cercanas. La región geográfica que cubre la misión cuenta con una infraestructura de distribución eléctrica bonificada, para conectar las localidades del emprendimiento a la máquina eléctrica más cercana, además la geografía del lugar dificulta el acceso a dichas localidades, ya que presentan vías sujetas a efectos atmosféricos, erosión y muchos otros. De ahí la importancia para la sociedad de la mejora de este cometido de ampliar una central hidroeléctrica para el suministro de energía.

*Justificación económica*, debido a la rentabilidad negativa de los Proyectos de Electrificación Rural. El crecimiento del sistema eléctrico existente en regiones cercanas a algunos lugares de desafío no se ha llevado a cabo debido a la mala rentabilidad que esto ofrece a los negocios de distribución. La salida se da a través del Estado que desarrolla las iniciativas y mediante la toma del precio a pagar con ayuda del usuario cubre los honorarios de operación y mantenimiento de la agencia distribuidora. Por ello la importancia de este proyecto que beneficiara económicamente en forma directamente a los pobladores de la zona.

*Justificación técnica*, Debido a los niveles bajos de carga y entrada en las zonas rurales. Las inversiones en nuevas instalaciones de tecnología energética de propulsión eléctrica, ya sean convencionales o no convencionales, se desaconsejan por los bajos niveles de carga y consumo en las regiones rurales, adicionalmente por la poca difusión de su uso y los niveles de pobreza en los que generalmente se puede descubrir los pueblos del interior del país.

En ese sentido es importante implementar tecnológicamente este proyecto

para mejorar estas condiciones de uso. Además, la excesiva inversión preliminar en sistemas de generación de energía. Los costos preliminares de inversión en dispositivos de tecnología eléctrica son altos, y no existen mecanismos de financiamiento y financiación privados disponibles para atender este tipo de misión. Sin embargo, la importancia de sus paquetes son muchos hoy en día, ya no solo en la era de la electricidad, sino también en estructuras de calefacción, hidráulica, agua caliente para el hogar, estrategias comerciales, etc.

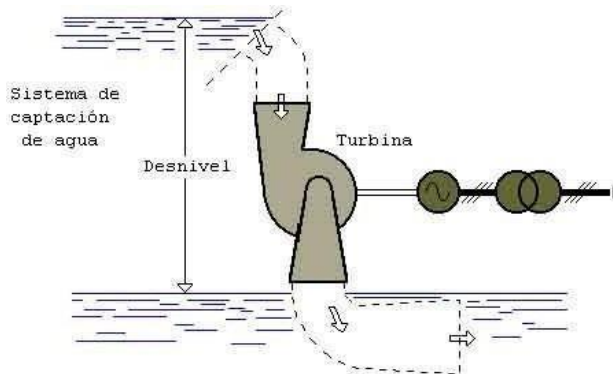
Con lo expresado, se ha propuesto la siguiente interrogante del estudio:

**¿Es posible determinar los parámetros hidráulicos necesarios para el diseño de una central hidroeléctrica de 700 kW de potencia instalada, distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache -San Martín?**

## **1.2. Fundamentación científica**

### **1.2.1 Central Hidroeléctrica**

Una central hidroeléctrica es aquella que genera energía mediante el aprovechamiento de la potencia útil del agua embalsada de un embalse situado en mejor estado que la central. El agua se conduce a través de una tubería de descarga a la sala de máquinas de la planta, en la que la generación de fuerza eléctrica se produce en alternadores por medio de enormes molinos hidráulicos. La función de una planta hidroeléctrica es aprovechar la energía eléctrica del agua almacenada y convertirla, primero en fuerza mecánica y luego eléctrica. El esquema conocido de una central hidroeléctrica puede ser: Esquema de Central Hidroeléctrica.



**Figura 2.** Recuperación de Espumas.  
Fuente: Elaboración propia

Una máquina serie de agua provoca un desnivel que provoca una cierta fuerza potencial acumulada. El paso del agua a través de la turbina desarrolla en ella un movimiento giratorio que activa el alternador y produce energía eléctrica moderna.

#### *Centrales Hidroeléctricas en el Perú*

La electricidad se genera a partir de activos extraordinarios como los hidráulicos, geotérmicos, eólicos, atómicos y solares, que pueden ser recursos renovables, además de los térmicos en los que se utiliza carbón, petróleo y gasolina natural, que pueden ser fuentes no renovables. En nuestra país, el potencial hídrico de primer nivel de los ríos, lagos y lagunas se utiliza para generar la energía que usamos. Esta generación hidroeléctrica representa el 60% de nuestra potencia general. El otro 40% se genera a través de la flora térmica, que funcionan con energía de Gas y Vapor y cuya principal gasolina sigue siendo el petróleo.

A través de lo mencionado las Centrales Hidroeléctricas se encuentran agrupados en dos sectores dentro del país:

A. La crucial máquina interconectada del norte: es por mucho la de mayor capacidad, pues genera cerca de 3.000 MW, abastece a las principales ciudades del país entre ellas: Piura, Chiclayo, Trujillo, Chimbote, Huaraz, Huánuco, Tingo María, Cajamarca, Huancayo y Lima. Los elementos esenciales de vida de las centrales hidroeléctricas que componen este dispositivo son:

Carhuaquero: “Ubicada en Cajamarca, aprovecha las aguas del río Chancay y cuenta con una caída neta de 475 m para generar 75 MW. Fue puesta

en servicio en 1988 y pertenece a la empresa EGENOR S.A.”

Cañón del Pato: “Situada en Ancash, a 120 Km. de Chimbote en la provincia de Huaylas, se requiere las aguas del río Santa aprovechando una caída de 395 m y generando 154 MW. Fue puesta en servicio en dos etapas: 1958 y 1981 respectivamente”. Pertenece también a EGENOR S.A.

Gallito Ciego: “Ubicada en la provincia de Contumazá, en Cajamarca. Genera 34 MW. Ha sido entregada en concesión definitiva a la empresa Cementos Norte Pacasmayo”.

Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo: “Situada en el departamento de Huancavelica, provincia de Tayacaja. Produce 798 MW, con una caída neta de 748 m también con turbinas Pelton”. Fue puesta en servicio en dos etapas 1973 y 1979 equitativamente.

Restitución: “Esta planta de energía capta el agua ya utilizada en la Central Antúnez de Mayolo a través de un salto de 258 m, produciendo 216 MW. Se puso en operación en 1984”. Ambos conforman el mayor complejo de hidrofuerza de estados unidos y pertenecen a Electroperú S.A.

Cahua: “Ubicada en Pativilca, al norte de Lima, aprovecha las aguas del río Pativilca a través de un desnivel de 215 m generando 41 MW”. Entró en servicio en 1967 y tiene componentes de energía para Huacho, Supe, Paramonga, Pativilca y Barranca.

Huinco: “Es la principal central hidroeléctrica de Lima. Su fabricación es de 262 MW a través de cuatro molinos. La cuenca de agua que abastece a Huinco proviene de las lagunas Marcapomacocha y Antacoto a 5.000 metros sobre el nivel del mar”. El agua es desviada a través de una caída de red de 1.245 m para ser absorbida por medio de 8 generadores Pelton. Entró en funcionamiento en 1965. Además de Huinco, diferentes plantas hidroeléctricas entregan la ciudad de Lima. Todos ellos pertenecen a la empresa EDEGEL S.A.: Central Matucana: Construida en 1971, genera ciento veinte MW. Con un desnivel de 980 m., Central Moyopampa: Inaugurada en 1951, genera 63 MW. Con un desnivel de 460 m., Central Callahuanca: Puesta en marcha en las gamas 1938 y 1958 respectivamente y genera 71 MW. Con una caída de 426 m. Y Central Huampaní: Puesta en marcha en 1962, genera 31 MW con una

caída de 185 m.

B. El dispositivo interconectado del sur: algunas de las principales localidades que lo componen son Arequipa, Cusco, Tacna, Moquegua, Juliaca, Ilo y Puno. En este Sistema Interconectado con 711 kilómetros de líneas de transmisión se encuentran las siguientes centrales hidroeléctricas:

Charcani Ubicada en Arequipa, “esta central es una de las más modernas del país. Fue inaugurada en 1988. Genera 136.8 MW con una caída de agua de 690 m y pertenece a la Empresa EGASA”.

Machu Picchu: “Ubicado dentro de la provincia de Urubamba cerca de las ruinas de Machu Picchu en Cusco. Genera 110 MW y su cabecera de internet es de 345 m”. Esta Central trabaja con generadores tipo Francis y entró en operación en 3 niveles: 1964, 1972 y 1984 respectivamente. En la actualidad, esta planta se encuentra inoperativa debido a los daños extremos causados por la inundación sufrida durante la temporada de El Niño de febrero de 1998.

Aricota 1 y 2: “Están ubicados dentro de la provincia de Candarave, en el departamento de Tacna. Aricota I se construyó en 1967 y actualmente produce 23.80 MW con una columna de agua de 617 m mediante un sistema de turbinas Pelton. Aricota 2 genera once,9 MW”.

“San Gabán Ubicada en la provincia de Carabaya, en el departamento de Puno. Es una moderna central que genera 110 MW de potencia”.

Las ventajas de las centrales hidroeléctricas, no requieren combustible, pero utilizan una forma renovable de electricidad, constantemente repuesta por la naturaleza de forma gratuita, es mucho más suave, ya que no contamina el aire ni el agua.

A menudo se puede combinar con otras beneficios, como el riego, la protección contra inundaciones, el suministro de agua, las carreteras, la navegación e incluso la ornamentación de la tierra y el turismo.

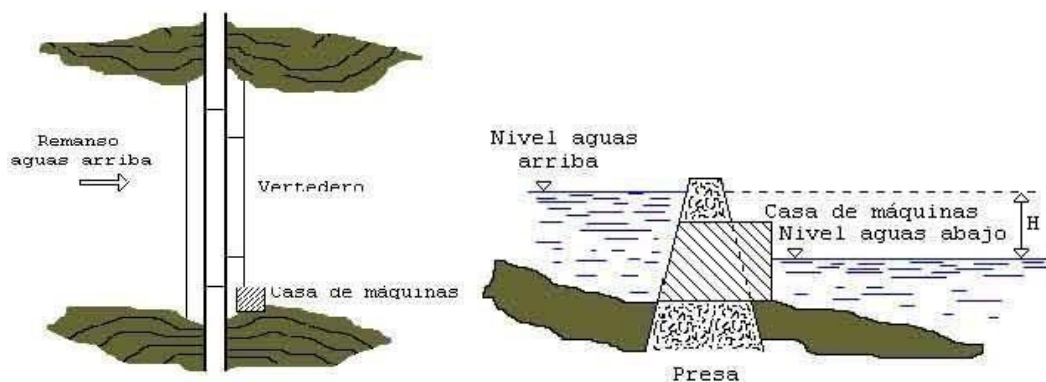
Los costos de mantenimiento y operación son bajos, las obras de ingeniería importantes para aprovechar la energía hidráulica tienen una longitud completa, además, la turbina hidráulica es un dispositivo simple, ecológico y seguro, que puede arrancar y prevenir rápidamente y requiere poca supervisión. Siendo sus

costes de mantenimiento, en general, reducidos.

*Desventajas de las centrales hidroeléctricas*, los precios de capital son a menudo muy elevados, el área, determinada mediante el uso de rasgos herbales, puede estar muy lejos del centro o de las instalaciones de consumo y requiere el desarrollo de un dispositivo de transmisión de electricidad, lo que significa que un auge en la financiación y en los gastos de mantenimiento y pérdida de electricidad. La construcción suele llevar mucho tiempo en comparación con la vida útil de la planta termoeléctrica, el suministro de electricidad puede diferir de una temporada a otra y de un año a otro.

### *Tipo de centrales hidroeléctricas*

Central Hidroeléctrica de Pasada: Una planta de pasada es aquella en la que no existe una acumulación considerable de agua "aguas arriba" de los molinos. En una planta de este tipo, los generadores deben recibir el caudal disponible del río "como viene", con sus variaciones de una estación a otra, o si eso no es posible, el exceso de agua se extravía por desbordamiento. A veces, un depósito muy pequeño será suficiente para evitar esta pérdida por desbordamiento.



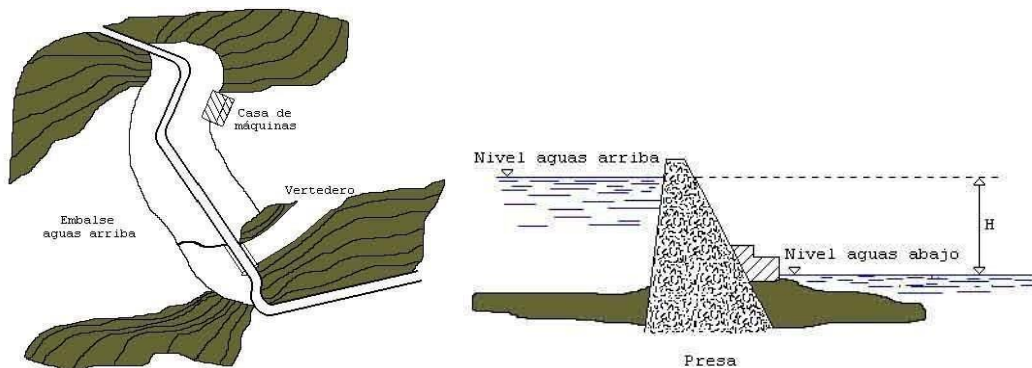
**Figura 3.** Central Hidroeléctrica de Pasada.  
Fuente: Elaboración propia

En él se aprovecha un estrechamiento del río, y las pinturas del edificio importante (casa de máquinas) pueden formar parte de la misma presa. El agujero entre "aguas arriba" y "aguas abajo" es pequeño y, a pesar de que tiene forma de charco de agua, no es de muy alta calidad. Este tipo de planta requiere un planeo lo suficientemente regular como para asegurar cierta fortaleza a lo largo del año.

Central hidroeléctrica con embalse de reserva: en este tipo de encargos se embalsa una gran cantidad de líquido “aguas arriba” de los molinos mediante la construcción de uno o más embalses que forman lagos sintéticos. El depósito permite regular la cantidad de agua que pasa por los molinos. La cantidad que se entregará a través de los molinos depende del tamaño del embalse. Con un embalse de reserva se puede producir energía a lo largo del año, aunque el río se seca absolutamente durante algunos meses, lo que sería imposible en un proyecto de pasada. Las flores eléctricas con garaje de reserva generalmente requieren una inversión de capital mejor que las flores de pasada, pero en la mayoría de los casos pueden ayudarlo a usar la mayor cantidad de fuerza posible y generar kilovatios-hora más baratos.

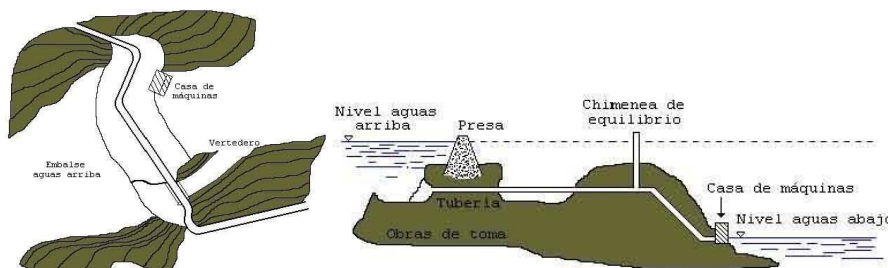
suelen existir dos variantes de estas centrales hidroeléctricas:

a) La casa de máquina al pie de la presa, en la figura siguiente se observa en PLANTA y CORTE el esquema de una central de este tipo, La casa de máquinas suele ubicarse al pie de la presa, como se evidencia en estos tipos de central, el desnivel registrado es de carácter mediano.



**Figura 4.** CH tipo casa de máquina al pie de la presa  
Fuente: Elaboración propia

b) Aprovechamiento por desviación del agua, en la figura siguiente se presenta un esquema en PLANTA y CORTE de una central de este tipo:



**Figura 5.** CH con embalse de reserva, tipo por derivación del agua

Fuente: Elaboración propia

En las inmediaciones idóneas por la topografía del terreno, se ubica la obra de consumo de agua, y el líquido es conducido a través de canales o tubos de tensión hasta la zona de la casa de máquinas.

Flora hidroeléctrica de bombeo: son un tipo único de centrales hidroeléctricas que permiten un uso más racional de las fuentes hidráulicas de un país. Tienen dos depósitos colocados en etapas especiales. Cuando la demanda de energía eléctrica alcanza su nivel máximo en algún momento del día, las estaciones de bombeo funcionan como una estación de electricidad convencional, produciendo energía. Cuando el agua cae, guardada dentro del depósito superior, hace girar el impulsor de la turbina relacionado con un alternador. Luego, el agua se guarda en el depósito inferior. Durante las horas del día en que disminuye la demanda de fuerza, el agua es bombeada al embalse superior para que vuelva a iniciar el ciclo productivo.

Para ello, la planta cuenta con empresas de motobombas o, en su defecto, sus generadores son reversibles para que funcionen como bombas y los alternadores como carros. En la figura se observa la central Hidroeléctrica de bombeo.



**Figura 6.** Central hidroeléctrica de bombeo  
Fuente: Elaboración propia

- |                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| 1. Embalse superior      | 2. Presa                |
| 3. Galería de conducción | 4. Chimenea de descarga |

- |  |                            |
|--|----------------------------|
| 5. Tubería forzada                           | 6. Casa de Maquina         |
| 7. Turbinas y generadores                    | 8. Desagües descargada     |
| 9. Líneas de transporte de energía eléctrica | 10. Embalse inferior o río |

### **1.2.2 Turbinas Hidráulicas**

La turbina hidráulica es una Turbomáquina de motor, y por lo tanto es básicamente una bomba rotodinámica que funciona a la inversa. Así como una bomba absorbe fuerza mecánica y devuelve electricidad al fluido, una turbina absorbe electricidad al fluido y devuelve fuerza mecánica. (Mataix C., 1975. p460).

La turbina hidráulica es una herramienta de motor que se encarga de transformar la fuerza cinética en electricidad potencial. Toma electricidad de un fluido, generalmente agua, transformándola en energía rotacional. Este movimiento moviliza un dispositivo o un generador eléctrico para que la energía mecánica giratoria se convierta en electricidad eléctrica. Las turbinas hidroeléctricas son la pieza fundamental de una central hidroeléctrica. (Blog Cómo Funciona, Menra, s/f). Los generadores hidráulicos son turbomáquinas que permiten transferir la energía del agua a un rotor provisto de álabes, al mismo tiempo que el flujo pasa por ellos (Encinas, 1975. p190)

Una vez entendida la simple definición de turbinas, como es de esperar, ésta tiene una secuencia de tipos que típicamente se clasifican por su estructura y por el fluido que circula por ellos para presionarlos, por su longitud, entre otros que se puede citar a continuación.

#### **Clasificación de las Turbinas Hidráulicas**

(L. Quantz, 1992) describe una clasificación de las diferentes turbinas hidráulicas, mostradas en la tabla 3.

**Tabla 3**  
Clasificación de turbinas hidráulicas

<b>TIPO DE TURBINA</b>	<b><i>N<sub>s</sub></i></b>	<b><i>N<sub>q</sub></i></b>	<b><i>H<sub>max adm.</sub></i></b>
Turbina Pelton 1 CH	10 a 13	3 a 4	1800 a 1300 m
Turbina Pelton 2 CH	12 a 20	4 a 6	1300 a 550 m
Turbina Pelton 4 CH	20 a 30	6 a 9	550 a 300 m
Francis lenta	60 a 125	18 a 38	350 a 150 m
Francis normal	125 a 175	38 a 53	150 a 120 m
Francis rápida	175 a 225	53 a 68	120 m a 80 m
Kaplan	225 a 350	68 a 105	80 a 35 m
Tubular	350 a 450	105 a 135	35 a 20 m
Hélice	300 a 600	105 a 180	35 a 18 m
	300 a 800	180 a 240	18 a 12 m
	500 a 1000	240 a 300	12 a 5 m

Fuente: "Manual de Mini y Micro centrales Hidráulicas" Una guía para el desarrollo de proyectos. Intermediate Technology Development Group, ITDG-PERÚ.

En este manual proporciona registros sobre el diseño de sistemas hidroeléctricos a pequeña escala. Estas estructuras se clasifican comúnmente en tres niveles de electricidad: a gran escala, mini y micro generación. La Tabla 4 sugiere las características principales de las turbinas hidráulicas, donde las turbinas hidráulicas se clasifican en dos corporaciones masivas: turbinas de acción y turbinas de respuesta. Los generadores de acción son aquellos en los que el agua incide sobre el álabe de la turbina a presión atmosférica. En esta situación, el agua se dirige hacia las palas a través de un eyector que convierte la electricidad potencial del agua en potencia mecánica mediante cambios de sección. Dávila, C. et al. (2010).

**Tabla 4**

<b>TURBINA</b>	<b><i>N<sub>s</sub></i> (RPM)</b>	<b><i>Q</i> (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b><i>H</i> (m)</b>	<b><i>P</i> (W)</b>	<b><i>N<sub>max</sub></i> (%)</b>
A C C I O N	PELTON	1 Ch:30	30 - 1800	2- 300000	91
		2 Ch: 30-50			
		4 Ch: 30-50			
MICHELL-BANKI	40-180	6 Ch: 50-70	15 - 300	5-8000	85
		60-250			
		10			
		0.025-5	1 - 50	1-750	82

	<i>Bomba Rotodinámica</i>	30-170	0.05-0.25	10 - 250	5-500	80
R E A C C I O N	<i>FRANCIS</i>	L: 60-150 N: 150-250 R: 250-400	1-500	2 - 750	2-750000	82
	<i>CERIAZ</i>	60-400	500	30 - 130	100.000	82
	<i>KAPLAN y de hélice AXIALES</i>	300-830	1000	5 - 80	2-200000	93
	- <i>Tubular</i> - <i>Bu lbo</i> - <i>Generafor periférico</i>	300-800	650	5 - 30	100	93

Fuente: "Manual de Mini y Micro centrales Hidráulicas" Una guía para el desarrollo de proyectos. Intermediate Technology Development Group, ITDG-PERU.

En la Tabla 5 se registra la eficiencia del grupo de generación en función a los rangos de potencia de operación de las centrales hidroeléctrica y en la Tabla 6 se evidencia la clasificación de mini centrales hidráulicas (M.C.H.) según la potencia para dos regiones, mundial (ONUDI) y Latinoamérica (OLADE).

**Tabla 5**  
*Eficiencia del grupo de generación*

<i>Potencia</i>	<i>Tipo de turbina</i>			
	<b>kW</b>	<b>Pelton</b>	<b>Michell - Banki</b>	<b>Francis</b>
<50	58-65%	54-62%	59-65%	58-66%
51-500	65-69%	62-65%	66-70%	66-70%
501-5000	69-73%	65%	70-74%	70-74%

Fuente: "Manual de Mini y Micro centrales Hidráulicas" Una guía para el desarrollo de proyectos. Intermediate Technology Development Group, ITDG-PERU.

**Tabla 6**

*Clasificación de mini centrales hidráulicas (M.C.H.) según la potencia.*

<i>Región</i>	<i>Institución</i>	<i>Micro Central</i>	<i>Mini Central</i>	<i>Pequeña Central</i>	<i>Grandes centrales</i>
Mundial	ONUDI	<100 kW	101-2,000 kW	>2,000- >10,000 kW	<10,000 kW
Latinoamérica	OLADE	<50 kW	51-500 kW	>500-<5,000 kW	>5,000 kW

Fuente: "Manual de Mini y Micro centrales Hidráulicas" Una guía para el desarrollo de proyectos. Intermediate Technology Development Group, ITDG-PERU.

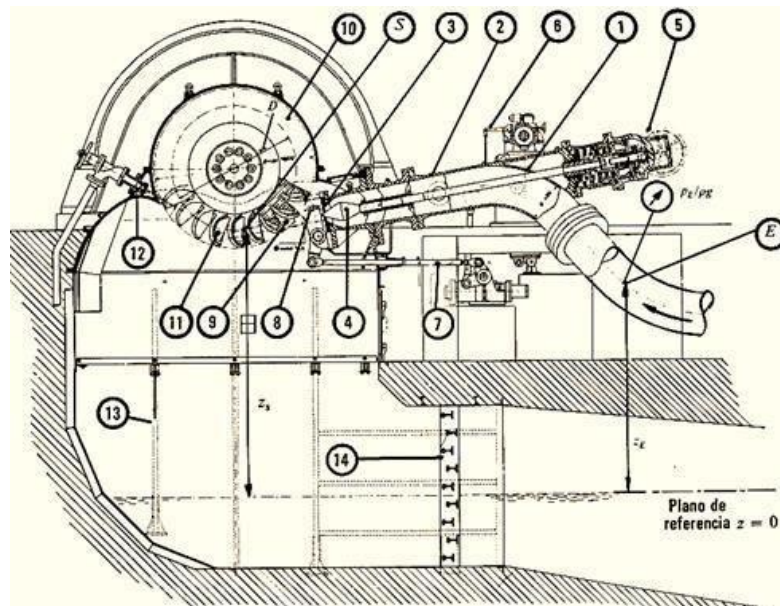
**Turbina Pelton,** Un chorro de agua bien dirigido y regulado golpea las palas del impulsor que se pueden desembolsar con ligereza a través del borde exterior de la rueda. Debido a la forma del balde, el agua se desvía sin sobresaltos, cediendo todo su poder cinético, para finalmente caer al mínimo y apagar el aparato. La regulación se realiza por medio de una aguja ubicada dentro de la tubería (Chuque, S. 2012).

Suelen estar equipados con un deflector, cuya función es desviar el chorro para evitar que la turbina se sobrerevolucione al no golpear las cubas, sin tener que acercarse bruscamente a la válvula de aguja, maniobra que provocaría un golpe de ariete. Se utilizan en saltos entre 40 y 1200 m. (Philler M., 2001). El eje de las toberas suele estar situado en el avión meridiano del impulsor. El agua sale de las copas a velocidades muy bajas (preferiblemente a velocidad cero) para que la carcasa que envuelve el impulsor no tenga que resistir ningún esfuerzo.

En la turbina Pelton de eje horizontal, la cantidad de chorros por rueda se reduce generalmente a uno o dos, ya que es muy difícil poner los tubos de alimentación y las agujas de inyección en un avión vertical. Esta máquina ensambladora encuentra aplicación en aquellos casos en que pueda haber agua sucia que produzca deterioro o movimiento corrosivo de primer orden.

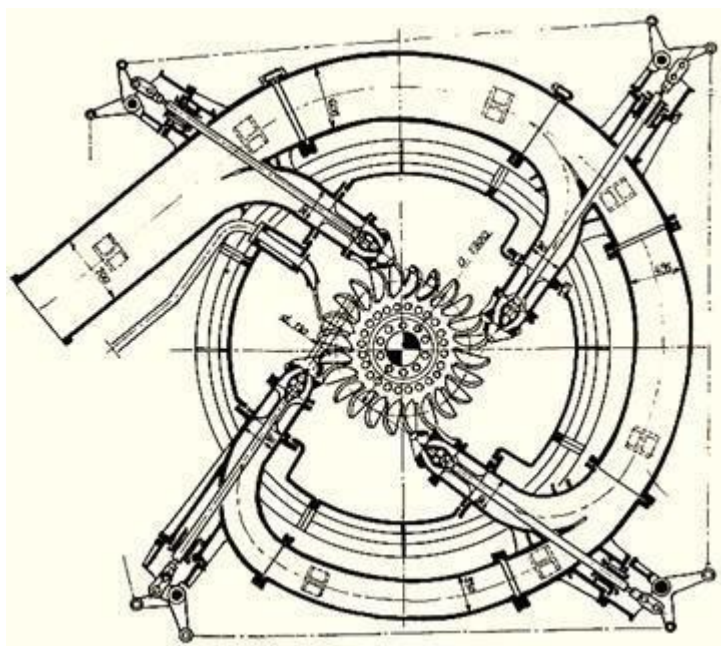
Con el eje horizontal también es factible colocar molinos gemelos para un solo generador colocado entre ellos, contrarrestando los empujes axiales (UMSA, 2021)

**Figura 7.** Turbina Pelton. Construida por la casa Charmilles, Suiza.  
Fuente: Mataix C. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas.



- |   |                                     |                            |
|---|-------------------------------------|----------------------------|
| 1- Codo de entrada.                         | 2- Inyector.                        | 3- Tobera                  |
| 4- Válvula de Aguja.                        | 5- Servomotor.                      | 6- Regulador.              |
| 7- Mando del Deflector.                     | 8- Deflector o Pantalla deflectora. | 9- Chorro.                 |
| 10- Rodete.                                 | 11- Alabes o Cucharas.              |                            |
| 12- Freno de la turbina por chorro de agua. | 13- Blindaje.                       | 14- Destructor de Energía. |

Con la disposición del eje vertical, se facilita la ubicación del dispositivo de alimentación en un plano horizontal, lo que permite aumentar la amplia variedad de surtidores por rueda (de 4 a 6); Con esto, puede impulsar el planeo y tener más electricidad por unidad. Se acorta el periodo del eje turbina-generator; se minimizan las excavaciones; el diámetro de la rueda puede reducirse y la velocidad de rotación puede elevarse, finalmente se reduce el peso de la turbina consistente con la unidad de potencia. Esto hace que el uso de esta combinación en los molinos Pelton sea mejor que la combinación horizontal. Su utilidad es conveniente en aquellas instancias donde hay agua fácil que no produce un gran impacto corrosivo en las palas e inyectores, por lo que la inspección y mantenimiento con esta reunión se hace más difícil. (UMSA 2021)

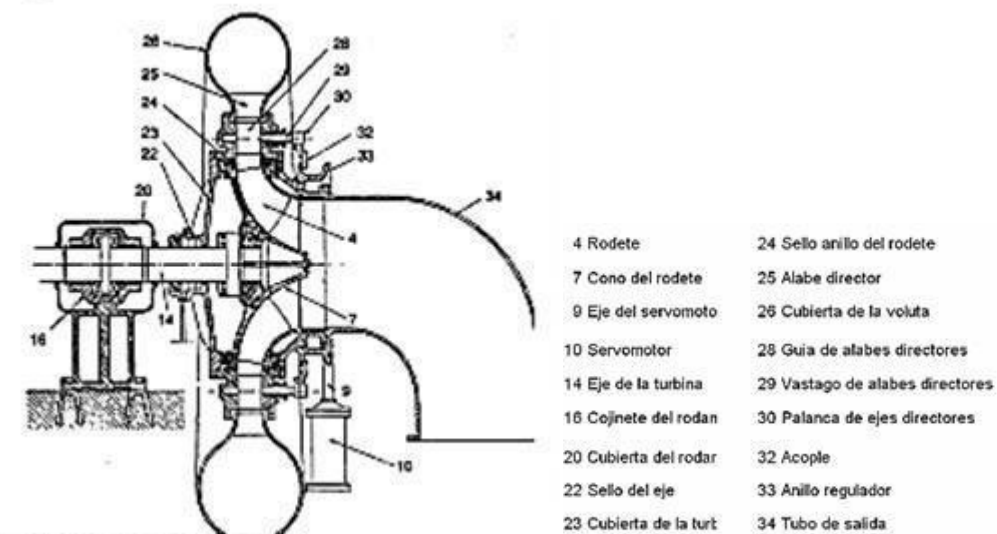


**Figura 8.** Turbina Pelton. de eje vertical de 4 chorros, para un salto neto de 394 m. Construida por la casa Escher Wyss.  
Fuente: Mataix C. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas.

**Turbina Francis**, son conocidas como turbina de sobrepresión por la variación de presión que presentan en diversos puntos o zonas del rodete (Zamora P. y Viedma R. 2016), también son conocidas como turbinas de admisión total ya que se encuentran sometidos a la influencia directa del agua a través de toda su superficie periférica (Mataix, 1975), siendo el concepto más

generalizado el de turbina radial axial por poseer un rodete tipo mixto donde el ingreso del fluido se hace de forma radial y la salida de forma axial y pueden ser instalados con el eje en posición horizontal o vertical.

Son turbinas de respuesta centrípeta y de admisión general. Se utilizan en alturas medias y cafetaleras y en caudales intermedios. La red salta gradas de 60 a 600m. Actualmente su rendimiento máximo supera el 95%, generalmente se encuentra entre el 85 y el 95%. Presentan un diseño hidrodinámico que asegura un rendimiento excesivo debido a las bajas pérdidas hidráulicas. Son fuertes, con bajo valor de conservación. Sin embargo, no se recomienda su instalación con alturas de agua de más de 800 m mientras haya variaciones masivas en el flotador. (Universidad Politécnica de Valencia, UPV)



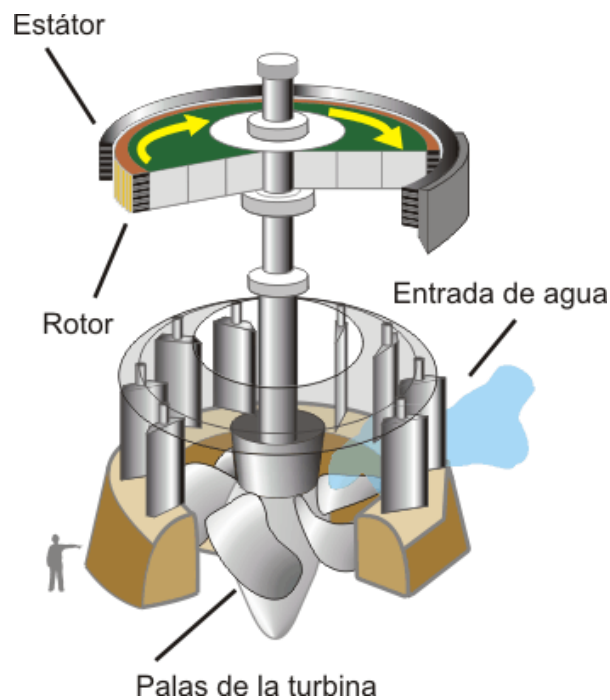
**Figura 9.** Corte Transversal de una turbina Francis Horizontal  
Fuente: TEV (2001)



**Figura 10.** Distribución de componentes de una Turbina Francis  
 Fuente: The Construction Encyclopedia

**Turbina Kaplan,** Son axiales van con los generadores de flujo, reacción y admisión total, su característica más importante es que tienen un impulsor que contiene álabes ajustables, su característica es gobernar el factor tangencial de la velocidad a la entrada del impulsor, por lo tanto, el fluido sale las palas (distribuidor) y entra en la rueda con un momento angular adquirido. A medida que el fluido pasa a través del impulsor, su momento angular disminuye, ofreciendo un par de torsión a la rueda, que a su vez impulsa el eje para proporcionar potencia. Además, dispone de un distribuidor radial tipo Fink con palas orientables. Puede tener una cámara de tipo espiral redonda o rectangular y un tubo de succión recto o en ángulo, dependiendo del requisito de elevación de succión (Pérez P. 2011)

Gracias a sus palas, puede ser redirigido tanto dentro del impulsor como dentro del distribuidor, puede funcionar con excelente eficiencia dentro de una amplia gama de flujos debido a su doble ley. También puedes descubrir los molinos Kaplan con palas fijas o también llamados generadores de hélice, con ellos se lleva a cabo una reducción masiva de gastos, sin embargo se disminuye la eficiencia, específicamente a cargas parciales. (Coz et al., 1995)



**Figura 11.** Esquema de una Turbina Kaplan  
Fuente: <https://app.emaze.com/>

### Componentes de una turbina Kaplan

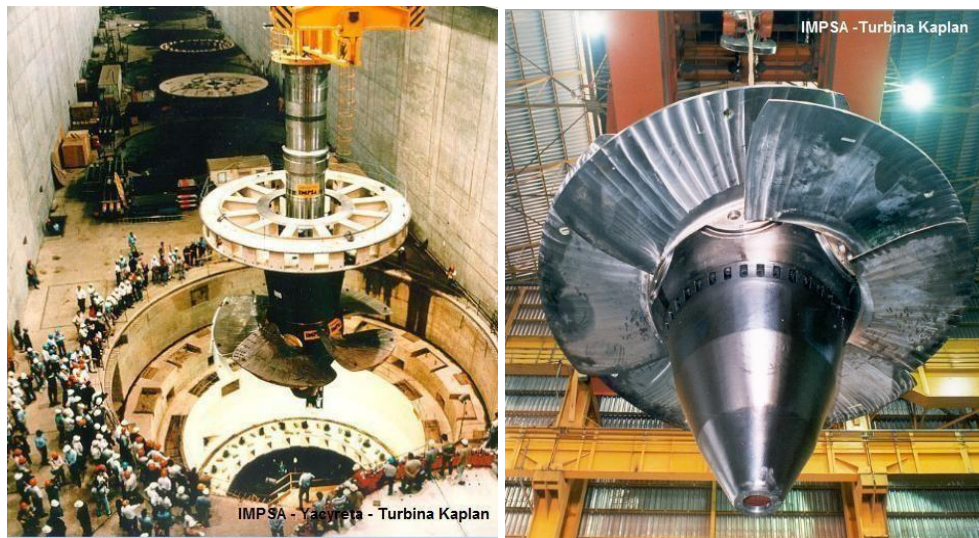
Carcasa, Este consta de áreas esféricas, una en las paletas del distribuidor y la otra dentro de las paletas del impulsor (si necesita aumentar la eficiencia de manera similar), para que pueda minimizar, en particular, las pérdidas volumétricas. También está diseñado para alojar el mecanismo de ley de las paletas manuales. Puede construirse en chapa gruesa. Se acopla mediante bridas a los conductos de admisión y escape.

Distribuidor de los álabes móviles, Estos cumplen la característica de regularse manualmente de acuerdo con los deseos de energía, en vida de la central hidroeléctrica, son regulados automáticamente con la ayuda de un servomotor conectado al gobernador que controla la velocidad del eje de la institución turbina generadora (López, 2010)

Rodete motriz o rotor con álabes regulables, tiene forma de hélice y está formado por un dado, que va unido a las palas encargadas de transmitir la fuerza del agua al eje de la turbina. El buje debe ser robusto de forma que los esfuerzos a los que está sometido deben ser también lo suficientemente grandes como para albergar el mecanismo de regulación de la salida de las palas y seguir un tema de

seguridad (López, 2010)

Tubo difusor o de desfogue, Se coloca después del rotor, aguas abajo, se usa solo en molinos de reacción y tiene funciones cruciales: permite que la turbina se coloque dentro de ciertos límites descritos por las situaciones de cavitación, independientemente del nivel del agua. Permite, como mínimo parcialmente, utilizar la velocidad de salida del rotor para aumentar el rendimiento de la turbina. Para rotores de alta velocidad se debe utilizar un tubo difusor, aunque por motivos de cavitación se debe colocar el rotor debajo del grado aguas abajo. El tubo difusor de la turbina bulbo es recto, el cual presenta una forma troncocónica, esto aumentará su eficiencia al no impartir cambios en la trayectoria del flujo de agua. Todos los factores definidos contribuyen a la transformación de la electricidad hidráulica en energía mecánica en mayor o menor grado, siendo el impulsor el detalle principal (López, 2010)



**Figura 12.** Esquema del Rotor de una turbina Kaplan

Nota. <https://app.emaze.com/>

### **Ecuaciones de diseño**

#### **Altura de Salto Aprovechable**

En toda Central Hidroeléctrica, No siempre se ejecuta la utilización de toda la altura de salto, existiendo pérdidas de pico por múltiples motivos, resultando en todos los casos que la altura disponible no se corresponde con la altura total.

Salto total ( $H_t$ ): “Diferencia de las cotas máximas (Bocatoma) y mínima (Canal de Descarga) del salto correspondiente respectivamente; al sitio donde se

inicia el salto hasta el sitio donde se realiza el desagüe”.

Salto Bruto o Salto Disponible ( $H_{dis}$ ): “Diferencia de niveles de agua entre la Cámara de Carga y el final del Tubo de Aspiración”.

Salto Neto ó Altura Efectiva ( $H_{neto}$ ): “Esta magnitud se calcula sobre la base de la altura bruta descontándosele las pérdidas de carga por turbulencias, por fricción del flujo en la tubería de presión y pérdidas en la válvula”.

Potencia de salto de agua:

La fuerza de una cascada es el trabajo ejecutado por la duración de un segundo por unidad de masa de agua o ir con el flujo que va de una mejor función a una función decreciente; o es la fuerza semejante a la igual unidad de tiempo, de la velocidad que el agua puede acumular en los generadores a causa del esfuerzo a que está sometida en ellos. Donde Q es la deriva en m<sup>3</sup>/s. De una cascada, H' es el salto bruto o altura que se tiene en metros y se tiene en cuenta que el agua tiene una densidad de mil kg/m<sup>3</sup>. La potencia teórica del salto de agua estará expresada por:

$$P_t = 1000 * Q * H' W \dots \dots \dots (1)$$

Expresado la potencia en C.V.

$$P_t = \frac{1000 * Q * H'}{75} C.V. \dots \dots \dots (2)$$

Potencia en el eje del generador

“La potencia eléctrica entregada por el generador, dependerá, de la misma manera, de rendimiento de este generador”, que llamaremos  $\eta_G$ ; entonces la potencia del generador se determina sobre la base de la altura neta, el caudal de agua, el rendimiento total de la turbina y el rendimiento del generador, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_g = \gamma * Q * H_{neto} * \eta = \gamma * Q * H_{neto} * \eta_T * \eta_G \dots \dots \dots (3)$$

Potencia neta

La producción del generador es menor debido a pérdidas en turbinas y generadores; además, "como resultado de las pérdidas de conversión y transmisión

de energía, la potencia neta recibida por el usuario final será menor que la potencia disponible en el sistema"; Dado que la eficiencia total del sistema es  $\eta_0$ , que en realidad oscila entre 0,4 y 0,6, obtendremos el efecto neto mediante la siguiente fórmula:

$$P_{neta} = 1000 * Q * H_{disp} * g * \eta_o \dots \dots \dots (4)$$

### **Equipos Electromecánicos**

Las turbinas son máquinas hidráulicas cuyo objeto es convertir la capacidad y fuerza cinética del agua en potencia mecánica de rotación. Se pueden clasificar en corporaciones: generadores de acción y generadores de respuesta.

Turbina de Acción: En este tipo, se utiliza la variante más sencilla de la electricidad cinética del agua, manteniendo constante la presión estática del agua a su paso por el rotor. Estos generadores normalmente funcionan a presión atmosférica; Se caracterizan por ser parcialmente admitidos y pueden instalarse con el eje horizontal o vertical. Se utilizan en saltos grandes y flujos relativamente pequeños. Este grupo incluye los generadores Pelton, Michell Banki y Turgo.

Turbina de Reacción: Este tipo de turbinas se benefician tanto de la deformación eléctrica como de la energía cinética del agua, por lo que puede existir un gradiente de tensiones dentro del rotor. En la moda es muy utilizado en Centrales Térmicas con caídas medias y de café con caudales medios y altos. Las turbinas están en esta institución: Kaplan, Francis y Deriaz.

### **Estandarización de turbinas**

La estandarización se basa en el hecho de que una turbina puede funcionar a plena carga para un rango dado de cabezas y flujos con alta eficiencia, a flujos por debajo del diseño y a velocidades ligeramente diferentes de las óptimas.

En resumen, se puede afirmar que la normalización de turbinas hidráulicas es la selección o diseño de uno o más tipos, modelos o tamaños de turbinas hidráulicas, definiendo sus parámetros de operación dentro de límites preestablecidos de altura H y caudal Q, e incluyéndolos de manera que si un

usuario específico necesita lograr una aplicación específica para cualquier turbina con cabezal y caudal dentro de estos límites de operación, se puede seleccionar una turbina comercialmente disponible con los mismos parámetros que una turbina considerada estándar y de rendimiento conocido.

La idea del restablecimiento de la colección de turbinas estandarizadas se da en 1908 con la ayuda del profesor Camerer, quien se basó en la particular variedad de revoluciones  $N_s$ , que es la variedad de revoluciones de un rodete de turbina que con un salto metro y completa admisión, arroja precisamente un C.V. Con el rendimiento factible de primer nivel, esto es:

$$N_s = \frac{n\sqrt{P}}{\sqrt[4]{H^3}} \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

$N_s$  =Número específico de revoluciones

$P$  =Potencia en C.V.

$H$  =Salto en m.

La expresión indicada en la ecuación 5, Se basa mucho en el rendimiento general, actualmente se favorece la expresión de la variedad particular de revoluciones como una característica del precio de deriva  $N_q$ , que es independiente del rendimiento general. Representa el rango de revoluciones de una turbina que, con un salto de 1 metro y a pleno consumo, tiene un consumo de agua de un metro cúbico por segundo y se expresa por:

$$N_q = \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} \dots\dots\dots(6)$$

consecuencia directa del análisis de las relaciones de similitud y semejanza.

El número de revoluciones de la turbina se determina en función del salto y diámetro del rodete, utilizando la siguiente expresión:

$$N = \frac{k\sqrt{H}}{D} \dots\dots\dots(7)$$

Donde el salto H y el diámetro D, están expresados en metros y la constante K depende del tipo de turbina según la siguiente tabla:

**Tabla 7.**  
*Valores de K para selección de turbinas*

<b>Tipo de Turbina</b>	<b>K</b>
Pelton de una o más toberas	38.00
Michell-Banki	39.85
Francis Lenta	40.00
Francis Normal	55.40
Francis Rápida	74.50
Kaplan	0.725 Nq

Fuente: Estandarización de Turbinas Hidráulicas para Pequeñas Centrales Hidráulicas (ITINTEC)

Si reemplazamos la ecuación (6) en (7) obtendremos como resultado el número específico de revoluciones expresado (Nq) en función el diámetro del rodete:

$$N_q = \frac{K\sqrt{Q}}{D^4\sqrt{H}} \dots\dots\dots(8)$$

En cuanto a los conceptos de número específico de revoluciones Ns y Nq estos se deducen al comparar el funcionamiento de turbina semejante. Así, tomando dos rodetes de construcción análoga, pero de diámetro distinto D y D1, y haciéndolas funcionar en el mismo salto, con la misma velocidad tangencial, por tanto, la relación será:

$$\frac{N_s}{N_q} = \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{Q\sqrt{H}}} \dots\dots\dots(9)$$

### **Caracterización experimental del Número específico de revoluciones**

Cada turbina se caracteriza por una constante que involucra variables de diseño, que se denomina velocidad única ( $N_s$ ), también conocida como número específico de revoluciones, que tiene el mismo valor para generadores geoméricamente iguales que operan en situaciones hidráulicas similares. (García y Nava, 2013)

Según (International Water Power & Dam Construction, 1978) propone tres correlaciones para la aproximación de la velocidad específica en función a los años de fabricación:

$$\begin{array}{ll} 1960 - 1964 & N'_s = 2959H_d^{-0.625} \\ 1965 - 1969 & N'_s = 3250H_d^{-0.625} \dots\dots\dots (10) \\ 1970 - 1975 & N'_s = 3470H_d^{-0.625} \end{array}$$

### **Elección del tipo de turbina**

La Selección del tipo de turbina a utilizar en una Central Hidroeléctrica se realiza pensando en la variedad específica de revoluciones  $N_s$  y  $N_q$  o mediante el uso de nomogramas de estandarización elaborados en base a; Rendimiento general de la turbina bajo situaciones específicas de cabeza y flujo. La primera técnica basada totalmente en el cálculo de la amplia variedad específica de revoluciones  $N_s$  y  $N_q$  incluye asumir el ritmo de rotación más eficiente de la turbina dependiendo del tipo de acoplamiento entre la turbina y el generador. La tabla ocho especifica, para cada tipo de turbina, la oportunidad de valores de cabeza de red dentro de los cuales es capaz de funcionar. Tenga en cuenta que existen superposiciones aparentes, de modo que para un cabezal dado se pueden usar varios tipos de turbinas.

**Tabla 8**  
Valores de altura para selección de turbinas

Tipo de Turbina	Salto (m)
Kaplan y hélice	2 - 20
Francis	10 - 350
Pelton	50 - 1300
Michell-Banki	3 - 200
Turgo	50 - 250

Fuente: Libro Turbinas Hidráulica. (Fernández, P., 2009).

“La clasificación según el número específico de revoluciones puede cambiar de acuerdo al criterio de los fabricantes y al año en que se diseñe la turbina, aunque la mayoría de estas máquinas caen dentro de este criterio”, según se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9**  
Clasificación de las turbinas según  $N_s$  y  $N_q$

$N_s$	Turbina	$N_q$
$2 \leq N_s \leq 30$	<i>Pelton de una boquilla</i>	$0.6 \leq N_q \leq 9$
$30 \leq N_s \leq 60$	<i>Pelton de varias boquillas</i>	$9 \leq N_q \leq 18$
$60 \leq N_s \leq 200$	<i>Francis lenta</i>	$18 \leq N_q \leq 60$
$N_s = 200$	<i>Francis normal</i>	$N_q = 60$
$200 \leq N_s \leq 450$	<i>Francis rápida</i>	$60 \leq N_q \leq 140$
$450 \leq N_s \leq 500$	<i>Francis de varios rodetes</i>	$140 \leq N_q \leq 152$
$500 \leq N_s \leq 1350$	<i>Hélice</i>	$152 \leq N_q \leq 400$

Fuente: Libro Turbinas Hidráulica. (Fernández, P., 2009).

### Descripción técnica de las turbinas Francis

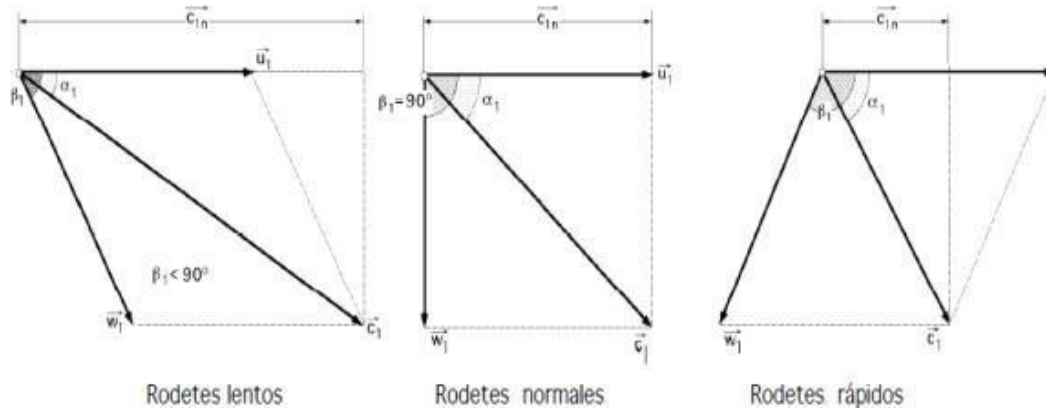
Los molinos Francis son turbinas de reacción con deslizamiento radial y tubo centrípeto de admisión y succión; Se construyen continuamente en la mayoría de las situaciones de rendimiento, lo que da lugar a algunos tipos esenciales, ampliamente utilizados en saltos de altura media, equipados con un distribuidor de palas ajustables y un impulsor de palas fijas.

Haciendo uso de la ecuación fundamental de las turbinas en condiciones de rendimiento máximo  $\alpha_2 = 90^\circ$  resulta:

$$c_1 u_1 \cos \alpha_1 = n_{hid} g H_n \text{ o } c_1 n u_1 = n_{hid} g H_n \dots \dots \dots (11)$$

En las turbinas de mezcla rápida, la entrada sigue siendo radial, pero el escape suele ser axial, con el tubo de entrada de una turbina mixta de eje horizontal en primer plano. Observe cómo las turbinas están profundamente incrustadas en el hormigón para evitar vibraciones a baja velocidad. En estos generadores, el agua se mueve como desviada a presión, pasando del distribuidor permanente al impulsor "móvil", al que impulsa, sin contacto con la atmósfera. Las entrañas y sus caracoles están orgullosos de su materialidad, valorando al caparazón de Pelton.

Los triángulos de velocidades a la entrada son de la forma indicada en la Fig en donde en función de los coeficientes óptimos de velocidad, se tiene:



**Figura 13.** Triángulo de velocidades de una turbina Francis  
Fuente: The Construction Encyclopedia

Los triángulos de velocidades a la entrada son distintos según los valores de  $\beta_1$

La condición de rendimiento máximo se obtiene cuando la velocidad absoluta y periférica tangencial, respectivamente cumplen con la condición:  $c_{2n} = 0, u_2 = 0$ , implica un rendimiento hidráulico de la forma:

$$n_{hid} = 2(\epsilon_1 u_1 - \epsilon_2 u_2) = |u_2 = 0| = 2\epsilon_1 u_1 \dots \dots \dots (12)$$

Esta condición puede lograrse variando  $\epsilon_1$  o  $u_1$  de forma que si uno

aumenta el otro tiene que disminuir y viceversa, con lo que  $u_1$  y  $c_1$  tienen que variar en la misma forma. En primera aproximación se pueden clasificar en función de la velocidad:

$$\text{Normal: } \varepsilon_1 = u_1 = \sqrt{\frac{nhid}{2}} \dots\dots\dots (13)$$

$$\text{Lento: } \varepsilon_1 < \sqrt{\frac{nhid}{2}} \dots\dots\dots (14)$$

$$\text{Rápido: } \varepsilon_1 > \sqrt{\frac{nhid}{2}} \dots\dots\dots (15)$$

Los valores de  $\varepsilon_1$  se consiguen lograr de las gráficas de Voetsch y Allis Chalmers, en relación del número específico de revoluciones.

Procedimiento para Calculo geométrico de la Turbina Francis

Tamaño del rodete:

“Las leyes de similitud utilizadas a turbinas hidráulicas reflejan que con la misma velocidad especifica, el coeficiente de velocidad periférica  $\phi$  permanece constante y está definido por”:

$$\phi = U/(2gHd)^{0.5} \dots\dots\dots (16)$$

Donde:

U: velocidad tangencial o periférica

Reemplazando la expresión de la velocidad tangencial en la ecuación (16) tenemos:

$$\phi = D_3N\pi/60(2gHd)^{0.5} \dots\dots\dots (17)$$

Donde:

D3: diámetro de descarga del rodete en m

N: velocidad de rotación síncrona en rpm

Hd: altura o salto neto de diseño en m

“La razón de variación del coeficiente de variación periférica  $\phi$  con respecto a la velocidad especifica NS”, se correlaciona con la siguiente expresión:

$$\phi = 0.31 + 2.5 \times 10^{-3} N_s \dots\dots\dots (18)$$

Y el valor del diámetro de descarga  $D_3$  es:

$$D_3 = 84.5 \phi \sqrt{H_d}/N \dots \dots \dots (19)$$

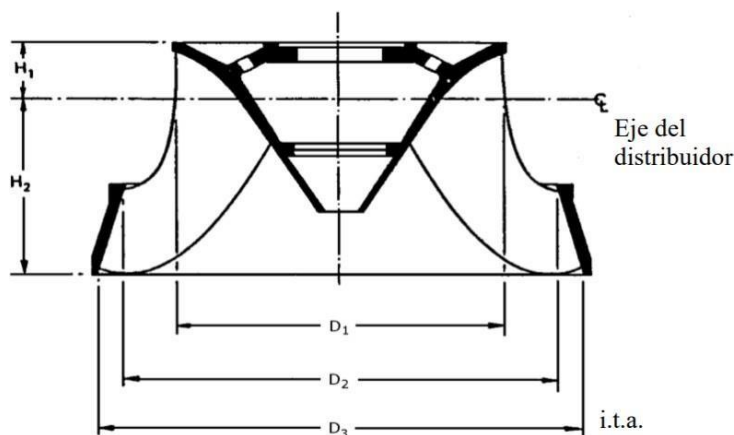
“A continuación, se presentan las expresiones respectivas en función de  $N_s$  y  $D_3$ ”:

Diámetro de entrada ( $D_1$ ):  $\frac{D_1}{D_3} = 0.4 + \frac{94.5}{N_s}$

Diámetro medio ( $D_2$ ):  $\frac{D_2}{D_3} = \frac{1}{0.96 + 0.00038 * N_s}$

Distancia de  $D_1$  al eje del distribuidor:  $\frac{H_1}{D_3} = 0.094 + 0.00025 * N_s$

Distancia del eje del distribuidor a  $D_3$ :  $\frac{H_2}{D_3} = \frac{1}{3.16 - 0.0013 N_s} \dots \dots \dots (20)$



**Figura 14.** Dimensiones del rodete de una turbina tipo Francis  
Fuente: International Water Power & Dam Construction, 1978.

**Tamaño de la carcasa o caracol**

Las esenciales proporciones de la carcasa se mencionan en las figuras 14, 15 y 16, estas dimensiones preparaciones se demostrarán para las siguientes condiciones:

“La velocidad del agua a la entrada de la carcasa será  $V_e = 0.22 * (2g H_d)^{0.5}$ , pero en ningún caso mayor de 10.7 m/s”.

“El diámetro de entrada será menor o igual que el de la tubería a presión”.

“La velocidad tangencial en secciones sucesivas permanece constante”.

En las siguientes líneas, se reflejan las expresiones respectivas en función de  $N_s$  y  $D_3$ :

$$\frac{A}{D_3} = 1.2 - \frac{19.56}{N_s}$$

$$\frac{B}{D_3} = 1.1 + \frac{54.8}{N_s}$$

$$\frac{C}{D_3} = 1.32 + \frac{49.25}{N_s}$$

$$\frac{D}{D_3} = 1.5 + \frac{48.8}{N_s}$$

$$\frac{E}{D_3} = 0.98 + \frac{63.60}{N_s}$$

$$\frac{F}{D_3} = 1 + \frac{131.4}{N_s}$$

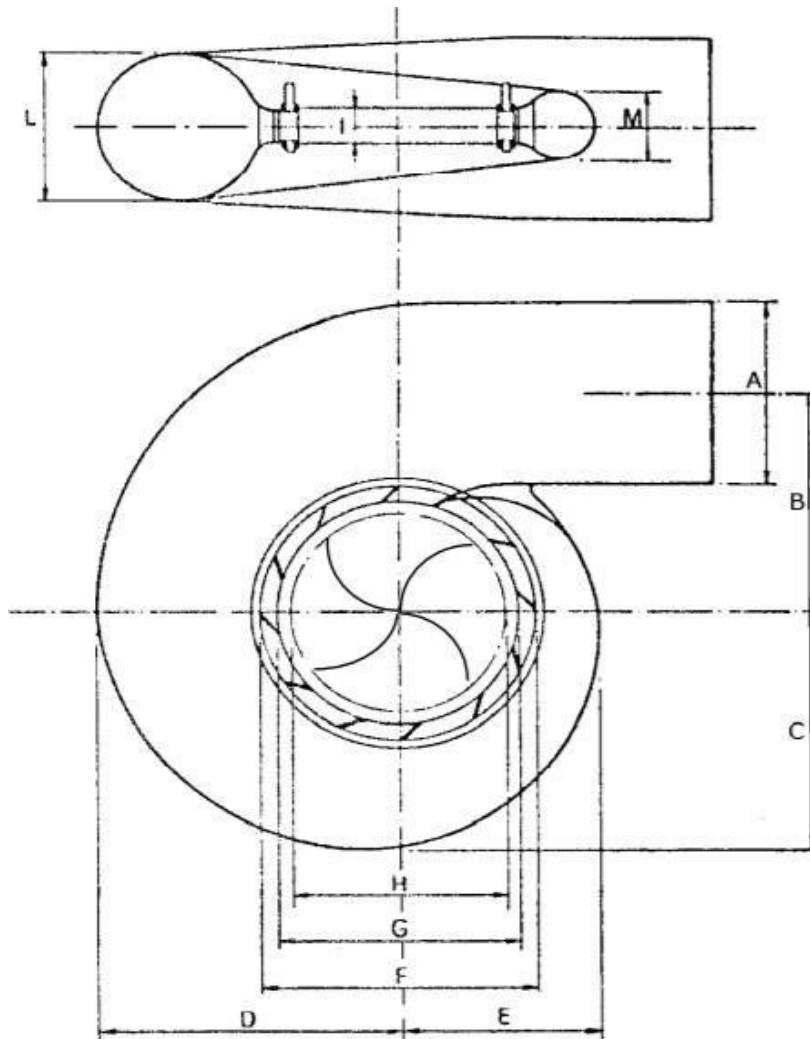
$$\frac{G}{D_3} = 0.89 + \frac{96.5}{N_s}$$

$$\frac{H}{D_3} = 0.79 + \frac{81.75}{N_s}$$

$$\frac{I}{D_3} = 0.1 + 0.00065 * N_s$$

$$\frac{L}{D_3} = 0.88 + 0.00049 * N_s$$

$$\frac{M}{D_3} = 0.60 + \frac{0.000015}{N_s} \dots\dots\dots(21)$$



**Figura 15.** Dimensiones de la carcasa de una turbina tipo Francis  
Fuente: International Water Power & Dam Construction, 1978.

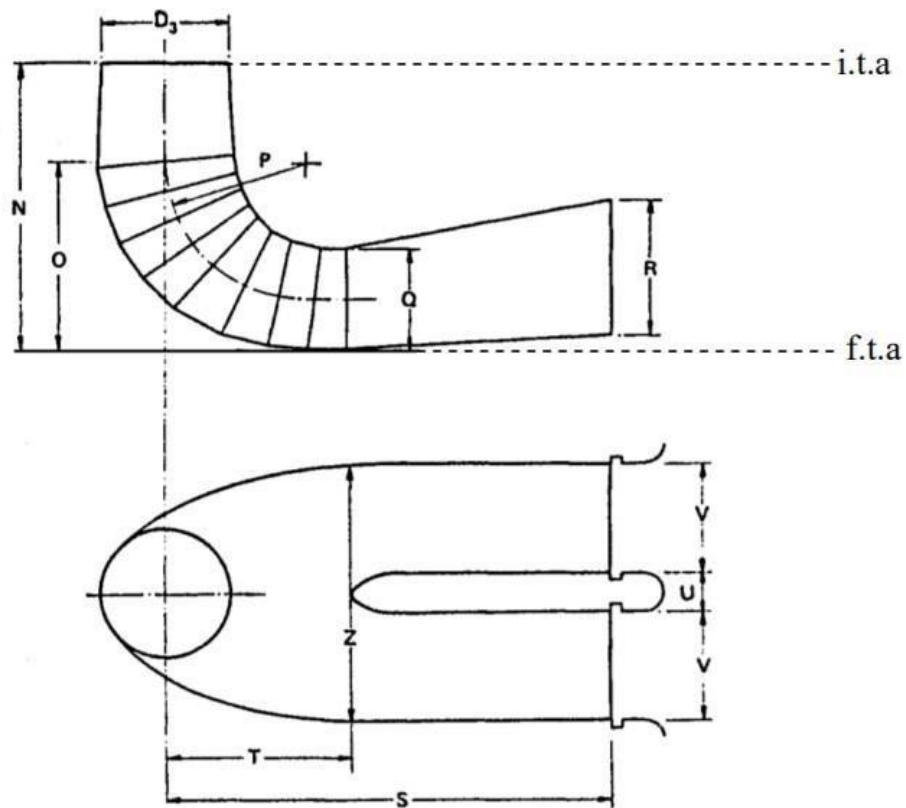
### Tamaño del tubo de aspiración

El tamaño del tubo de succión se determina inmediatamente a través del tamaño del impulsor, cada uno tiene en común el diámetro  $D_3$  y la velocidad absoluta en su fase de entrada, que corresponde aproximadamente a la velocidad de descarga del impulsor.

La figura dieciséis muestra las dimensiones máximas cruciales del tubo de succión, además del inicio (i.T.A.) y el fondo (f.T.A.) del mismo para una turbina tipo Francis. La distinción entre esos niveles viene dada por el valor de  $N_s$  según la nomenclatura dentro de la figura. Este costo es muy importante, ya que dada su enorme importancia, afecta en gran medida la extensión de la excavación para instalar la turbina y los grados dentro de la salida que pueden causar cavitación.

A continuación, se presentan las expresiones respectivas en función de  $N_s$  y  $D_3$ :

$$\begin{aligned} \frac{N}{D_3} &= 1.54 + 203.5/N_s & \frac{O}{D_3} &= 0.83 + 140.7/N_s \\ \frac{P}{D_3} &= 1.37 - 0.00056/N_s & \frac{Q}{D_3} &= 0.58 + 22.6/N_s \\ \frac{R}{D_3} &= 1.60 + 0.0013/N_s & \frac{S}{D_3} &= \frac{N_s}{-9.28+0.25*N_s} \\ \frac{T}{D_3} &= 1.50 + 0.00019 * N_s & \frac{U}{D_3} &= 0.51 + 0.0007 * N_s \\ \frac{V}{D_3} &= 1.10 + 53.7/N_s & \frac{Z}{D_3} &= 2.63 + 33.8/N_s \dots\dots\dots (22) \end{aligned}$$



**Figura 16.** Dimensiones del tubo de aspiración de una turbina tipo Francis  
Fuente: International Water Power & Dam Construction, 1978.

Entonces posterior de una revisión de las teorías vinculadas al problema, se ha propuesto la continuada hipótesis: Mediante la caracterización de los parámetros hidráulicos se realizará el diseño de una centralhidroeléctrica de 700 kW de potencia instalada, distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martin.

Determinación y Operacionalizad de Variables.

Variable Dependiente: *Central hidroeléctrica*

Definición conceptual: Una central hidroeléctrica es una instalación en la cual la energía cinética del agua, se transforma en un momento de giro en el eje de una turbina, y finalmente en energía eléctrica, por transmisión del momento de giro al rotor de un generador eléctrico. Los elementos componentes de una central son: Tubería forzada, Generadores, Canales, Presas, Tuberías, Dispositivo de toma de agua. (Espitia, 2013)

Definición operacional: El dimensionamiento de la central hidroeléctrica considera la energía cinética del agua en el interior de la tubería de presión, se transforma en energía de momento de giro en la turbina hidráulica el cual se transmite en el eje de esta turbina y finalmente acoplado con un generador eléctrico producir energía eléctrica. (Montecinos, 2021)

Variable Independiente: *Parámetros hidráulicos*

Definición conceptual: Los parámetros hidráulicos requeridos para controlar durante el diseño de una central hidroeléctrica son: la presión a la entrada de la turbina, nivel del agua en la cámara de carga y velocidad de rotación (rpm). (CENERGIA, 2015)

Definición operacional: Los parámetros hidráulicos que se caracterizaran para el diseño de la central hidroeléctrica son: el caudal promedio de agua, el cual se midió a lo largo del tiempo y se realizó un tratamiento estadístico de los niveles y caudales, nivel del agua en la cámara de carga, la altura neta y velocidad de rotación de la turbina hidráulica (rpm). (Montecinos, 2021)

Una vez conceptualizada las variables de estudio se propone los objetivos. Con referencia al objetivo general planteamos: Caracterizar los parámetros hidráulicos para el diseño de una central hidroeléctrica de 700 kW de potencia instalada, distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martin.

Además, respecto a los objetivos específicos proponemos:

Evaluar el potencial hídrico de la cuenca proveniente río Pacota ubicado en distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martin.

Diagnóstico de la situación actual de los servicios de energía eléctrica en el distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martin.

Calcular y seleccionar conjunto turbina generador requerido para la Central Hidroeléctrica del distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martin.

Calcular y seleccionar los equipos electromecánicos para la Central Hidroeléctrica del distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martin.

## II. Metodología

### 2.1. Tipo y diseño de investigación.

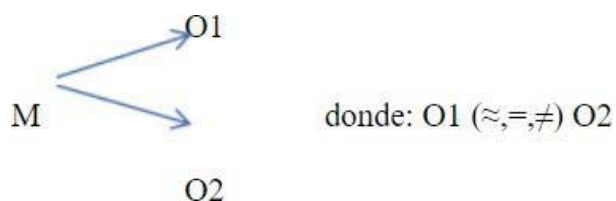
**Tipo:** El desarrollo del estudio es considerado de tipo descriptivo, bajo el desarrollo de un enfoque cuantitativo, por resultados datos numéricos como respuesta a las proposiciones en los objetivos.

**Diseño:** Es considerada como un diseño no experimental, por realizar las observaciones necesarias y de alcance transversal porque la recolección de los datos se realizó en un solo momento.

Es considerado de corte transversal, porque el fundamento del estudio se basó en recolectar la información en un solo momento, donde el investigador se propuso las fechas y tiempo para obtener los datos necesarios que permitieron responder a los objetivos.

El esquema que representa a este diseño es:

Dónde:



M = Muestra

O1 = Observación de la muestra antes O2

= Observación de la muestra después

### 2.2. Población y muestra

#### **Población:**

Caudal: Nuestra investigación se basa en el nivel de caudal para determinar la potencia de la central hidroeléctrica, tomando como base el estudio de caudales que tenga la autoridad local de agua, por lo que se tomará todos los años que hayan sido identificados por esta institución para tener un mejor aprovechamiento hídrico.

Número de Habitantes: Representada por toda la población de los caseríos aledaños a la Central Hidroeléctrica.

**Muestra:**

Caudal: La muestra de estudio se basa en criterios técnicos, se tomará en cuenta la muestra que será de 1 año como mínimo.

Número de habitantes: De acuerdo al número de habitantes se tomará como muestra el total de viviendas.

### **2.3. Técnicas e instrumentos de medición**

#### **2.3.1. Técnicas**

**Análisis de Datos Históricos:** Es el análisis de reportes para la toma de datos de los caudales del río, en la primera parte del control de caudales tenemos la estación, río, cuenca, mes y nombre del aforador, en la segunda parte tenemos el trabajo de campo donde tendremos en cuenta la fecha, hora y tiempo que tarda un flotador en llegar de un punto a otro y a partir de esos datos calculamos el caudal del río.

**Observación No Experimental:** Técnica que quedó terminada antes de experimentar con las variables; es decir, la observación de los problemas tal como se muestran de verdad, de tal manera que permita reconocer la situación actual del sistema.

**Revisión Documental:** Análisis de los documentos de tesis anteriores que permitirá recolectar los datos sobre las variables seleccionados para el desarrollo del estudio.

**Análisis Documental:** Es el diagnóstico y el desarrollo de la revisión del manual de operación de los objetos en investigación, que permitirá alcanzar los elementos y detalles de funcionamiento y operación de los equipos a implementar.

**Observación Experimental:** Es un análisis prospectivo que elabora actividades para el estudio de los parámetros de diseño e implementación en situaciones comparativamente inspeccionadas por el investigador; en otras palabras, se realizó posterior de haber realizado la manipulación la o las

variables.

### **2.3.2. Instrumentos de medición**

**Reporte de Producción u Operación:** “Formato en el que se registró información que ayudó a medir los indicadores de la variable dependiente”.

**Matriz de Análisis de Criticidad:** “Formato en el que se definió el propósito para el análisis, en el que se establece los criterios de evaluación y el método de evaluación para jerarquizar los componentes críticos del objeto en estudio”.

**Registro de Datos:** “Formato en el que se registró los componentes críticos del equipo y la información de los parámetros de operación del objeto en estudio”.

### **2.3.3. Procesamiento y análisis de información**

Se procesarán la información obtenida (base de datos) “estos resultados reportados en campo serán sometidos por medio de programas Excel, los cuáles fueron evaluados mediante tablas resumen, gráficos de barras, diagramas y gráficos porcentuales”, que permitieron determinar las comparaciones pertinentes de la investigación

### III. Resultados

#### **3.1 Evaluación del potencial hídrico de la cuenca proveniente del río Pacota ubicado en distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martín.**

##### *3.1.1. Análisis de información pluviométrica*

“La escorrentía existente y producida en el área de estudio, proviene exclusivamente de las precipitaciones pluviales caídas en toda las subcuencas y áreas que contiene la cuenca alta del río Pacota, hasta la zona considerada en el estudio”. Por ello se han considerado las estaciones Pluviométricas que influyen en la Cuenca en estudio hasta el punto de descarga. Las estaciones que se consideraron para el estudio fueron analizadas desde el año 1998 al 2017, los cuadros siguientes y los datos con los que se cuentan para el análisis se basa en el valor máximo, mínimo y medio, los datos completos de los 20 años se encuentran en el Anexo 1.

**Tabla 10**  
*Estación Tananta precipitación máxima 24 horas*

<i>Año</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Prec Max (mm)</i>
<i>Max</i>	114.6	174.2	150.6	80.7	84.1	64.9	63	79.3	108.3	118	150.9	135.4	174.2
<i>Med</i>	68.17	71.25	61.49	48.91	41.98	32.56	30.56	34.68	48.37	61.99	70.9	65.93	71.25
<i>Min</i>	27.7	8	19.5	24	7.3	1.2	8.6	6.1	13.8	29.6	27.7	22.9	29.6
<i>D.Est</i>	22.09	35.86	26.63	14.67	17.72	17.05	15.52	19.54	23.4	20.48	28.63	23.7	35.86

Fuente: SENAMHI

**Tabla 11***Estación Tingo María precipitación máxima 24 horas*

<i>Año</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Prec Max (mm)</i>
<i>Max</i>	133	122.5	123.1	115	156	94.6	101.2	57.1	121	148	103.5	149.2	156
<i>Med</i>	70.91	72.13	68.68	57.83	68.71	42.45	41.52	25.62	53.09	62.3	65.01	68.5	72.13
<i>Min</i>	33.8	25	27.5	23.3	20.9	4.9	9.6	7.4	22.7	26.1	28.8	32.9	33.8
<i>D.Est</i>	23.87	24.97	22.2	23.71	34.79	21.22	23.28	10.77	23.13	29.07	17.08	25.95	34.79

Fuente: SENAMHI

**Tabla 12***Estación Aucayacu precipitación máxima 24 horas*

<i>Año</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Prec Max (mm)</i>
<i>Max</i>	96	102	109.2	95	96.9	75	123	103.4	72.5	88.4	102.6	182.7	182.7
<i>Med</i>	67.38	67.01	61.84	58.04	46.9	42.03	38.78	40.82	40.94	56.64	62.87	83.92	83.92
<i>Min</i>	39.5	37	17.5	19	12	12.5	14	10.5	12	15.5	30	39.6	39.6
<i>D.Est</i>	14.27	18.25	19.41	19.4	19.29	18.61	22.83	24.28	14.61	17.99	21.19	32.99	32.99

Fuente: SENAMHI

**Tabla 13***Estación Tocache precipitación máxima 24 horas*

<i>Año</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	<i>Prec Max (mm)</i>
<i>Max</i>	133	140	121.5	117	136.1	105.7	76	110.6	88.9	140.3	121.1	154.2	154.2
<i>Med</i>	70.24	69.16	62.07	54.99	50.01	33.97	35.18	36.27	52.81	62.21	68.72	67.94	70.24
<i>Min</i>	29.2	34.5	22.2	24	12.1	10.9	6.4	4.2	6.3	23.4	37.4	29.5	37.4
<i>D.Est</i>	26.86	26.63	21.84	18.57	26.66	17.74	19.41	22.82	19.42	31.66	22.71	26.94	31.66

Fuente: SENAMHI

“Las estaciones anteriormente mencionadas, cuentan con 20 años de registro, todo ello se tomó de la información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)”, se consignaron y utilizaron datos de 20 años que están completos, por lo que no fue necesario realizar el proceso de complementación de datos.

### 3.1.2. Parámetros geomorfológicos de la Cuenca de aporte del Río Pacota

“Diversos son los parámetros geomorfológicos que se pueden determinar en una cuenca, sin embargo, los más importantes y por ende los más estudiados son las siguientes”.

**Tabla 14**  
*Parámetros de la cuenca del río Pacota*

<b>Parámetro de cuenta</b>	<b>Simbología</b>	<b>Unidades</b>	<b>VALOR</b>
Área de la cuenca	A	Km <sup>2</sup>	27.403
Perímetro de la cuenca	P	Km	20.657
Longitud de la cuenta	L	Km	5.577
Altitud media de la cuenca	Hm	msnm	1375.00
Densidad de drenaje	Dd	Cauce/Km <sup>2</sup>	0.147
Densidad de Corriente	Dc	Km/Km <sup>2</sup>	0.036

Fuente: Equipo técnico de Hidrología, hidráulica y drenaje

La tabla con los parámetros geomorfológicos completos de la cuenca se encuentra en el Anexo 2.

### 3.1.3. Estimación de la descarga media

El escurrimiento superficial de las Cuencas se inicia por las precipitaciones pluviales que ocurre por medio el año. “Para determinar las descargas disponibles en el punto de interés o puntos de control, se ha empleado el modelo matemático de transformación de lluvias en escorrentía sustentado en el balance hídrico y en un proceso markoviano”. La expresión generalizada que permite la generación de descarga es:

$$Q_1 = B_1 + B_2 * Q_{t-1} + B_3 * PE_t + S * \sqrt{1 - R^2} + Z_t \dots \dots \dots (23)$$

Los cálculos establecidos en el estudio han sido procesados con el soporte de un programa que facilito alcanzar los resultados de manera automatizada por medio de una computadora y se presentan en el Anexo 3.

La escorrentía medio mensual se analizó para los doce meses, considerando el caudal de las descargas y el caudal neto donde se incluye la evaporación e infiltración, se presenta los resultados en la siguiente tabla:

**Tabla 15**  
Escorrentía medio mensual – Captación Rio Pacota (Caudal Neto)

MES	Caudal de descarga (Q) <i>m<sup>3</sup>/s</i>	Evaporación <i>m<sup>3</sup>/s</i>	Infiltración <i>m<sup>3</sup>/s</i>	Q neto <i>m<sup>3</sup>/s</i>
Enero	6.30421	0.18913	0.37825	5.737
Febrero	6.55463	0.19664	0.39328	5.965
Marzo	6.48648	0.19459	0.38919	5.903
Abril	4.67625	0.14029	0.28057	4.255
Mayo	3.43068	0.10292	0.20584	3.122
Junio	2.05560	0.06167	0.12334	1.871
Julio	1.94685	0.05841	0.11681	1.772
<b>Agosto</b>	<b>1.92050</b>	<b>0.05761</b>	<b>0.11523</b>	<b>1.748</b>
Setiembre	2.48021	0.07441	0.14881	2.257
Octubre	4.57159	0.13715	0.27430	4.160
Noviembre	6.99870	0.20996	0.41992	6.369
Diciembre	5.31829	0.15955	0.31910	4.840
<b>TOTAL</b>	<b>52.7440</b>	<b>1.05488</b>	<b>2.63720</b>	<b>47.999</b>

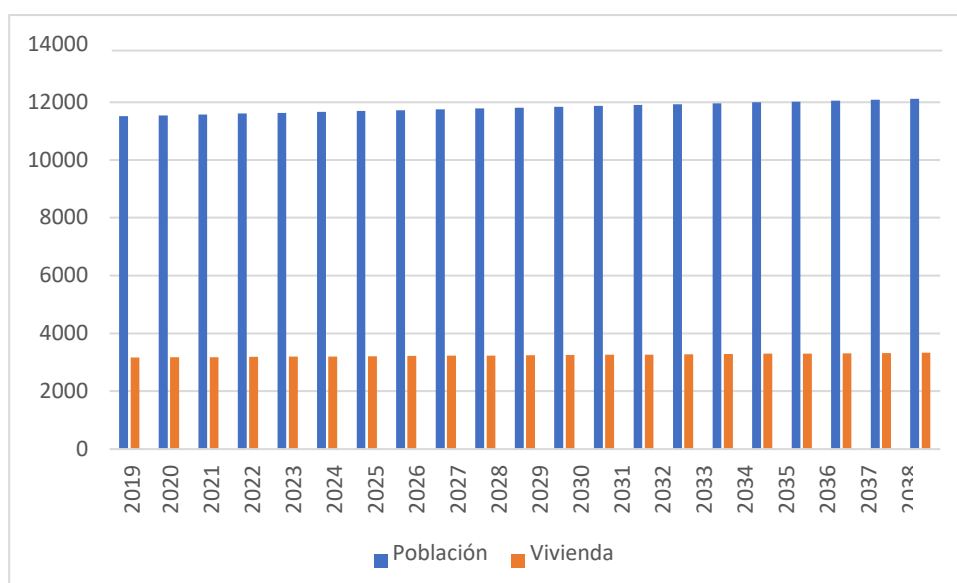
Fuente: Estudio Hidrológico creación de una Central Hidroeléctrica Pacota.

Obteniendo el caudal neto en el punto de captación en la época crítica (sequía) es de 1.748 m<sup>3</sup>/s, por lo que se utilizará el caudal que se represará un volumen de 18.000 m<sup>3</sup> según dato del ingeniero en estructuras, para incrementar al caudal de escurrimiento por el canal diseñado para abastecer la potencia requerida por la planta hidroeléctrica del distrito de Nuevo Progreso, obteniéndose cuyo caudal demandado de 0.5 m<sup>3</sup>/s, durante 10 horas de funcionamiento, obteniéndose un total de diseño de 2.2 m<sup>3</sup>/s.

### ***3.2 Determinación del diagnóstico de la situación actual de los servicios de energía eléctrica en el distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martín.***

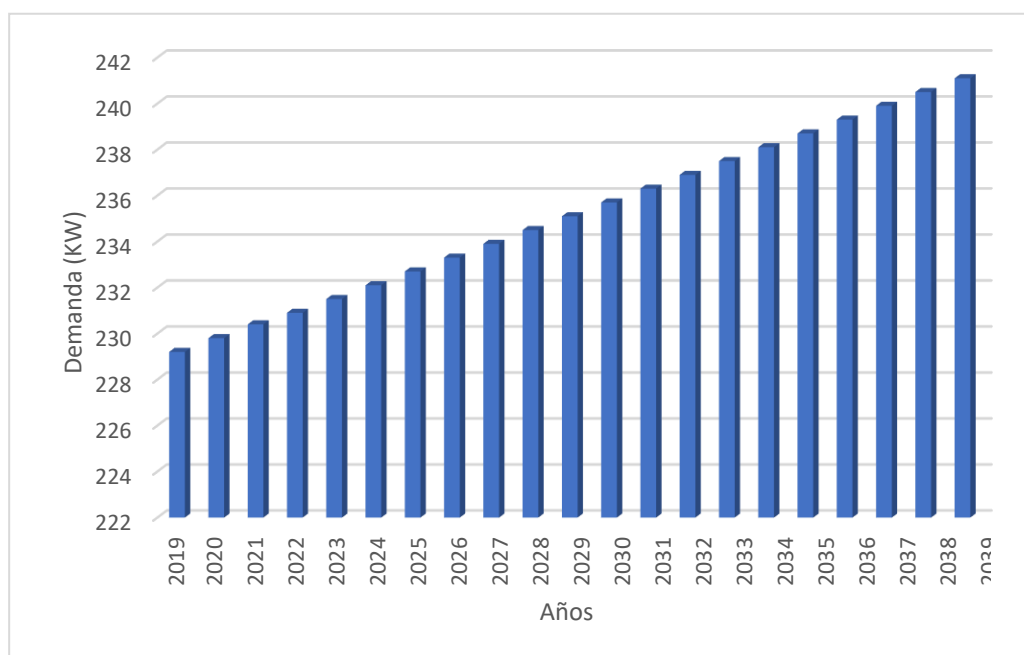
#### *3.2.1. Proyección de la población demandante efectiva en el horizonte de evaluación del proyecto*

La población total ascendió a la cifra de 11,456 habitantes para el año 2017, cifra que se obtiene de acuerdo con el censo de Población y Vivienda efectuado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) para dicho año, la misma que proyectada al año 2019 asciende a 11,514 habitantes. Utilizando la tasa de crecimiento poblacional para el distrito de Nuevo Progreso que es de 0.2531% anual, se proyectó la Población y vivienda durante los 20 años del proyecto y se muestra en el siguiente gráfico.



**Figura 17:** Proyección de población y vivienda demandante de energía  
 Fuente: Proyecto de Inversión pública de una presa en el Río Pacota

Con dicha información se obtiene la demanda de energía sin proyecto del distrito de Nuevo Progreso, que se analiza durante los 20 años desde el 2019 y se presenta en la siguiente figura 18.



**Figura 18:** Demanda de energía eléctrica sin proyecto  
 Fuente: Proyecto de Inversión pública de una presa en el Río Pacota

Donde, según el gráfico se puede apreciar que la demanda de energía es de crecimiento lineal y aumenta aproximadamente 1 kW por cada año. En base a ello nuestra investigación se ha propuesto como alternativa de solución la implementación de los componentes necesarios a fin de dotar un adecuado sistema de Mini Central Hidroeléctrica para proveer energía eléctrica para las localidades comprendidas dentro de la zona del proyecto y se justifican con los cálculos respectivos, con una dotación de 700kW.

**Tabla 16**

*Datos técnicos de la Mini Central Hidroeléctrica*

<b>Características de Equipos</b>	<b>Condición de operación</b>
Potencia instalada (a la salida del transformador)	700.00 kW
Caudal nominal de diseño	2.2 m <sup>3</sup> /s
Salto bruto	48.024 m
Salto neto	41.76 m
<b>Turbinas</b>	
Tipo	Francis de eje horizontal.
Número	1
Potencia	800 kW
Velocidad nominal de rotación	900 rpm
<b>Generadores</b>	
Tipo	Síncrono
Número	1
Cos $\varphi$	0.9
Capacidad	700 kVA
- Tensión nominal	0.38 – 0.23 kV
Frecuencia	60 Hz
<b>Transformador de potencia</b>	
Potencia	700 kVA
Relación de transformación	22.9/0.38 kv
Corriente primario/secundario.	17.6/1064 A
Tipo de conexión primario y secundario.	Estrella - estrella

Fuente: Proyecto de Inversión pública de una presa en el Río Pacota

## Costos del proyecto

En base a las actividades y metas definidos dentro del proyecto, se valoraron los precios de cada uno de las actividades de alternativa, en donde se han considerado como precios todos aquellos insumos, bienes o recursos en los que se pudiera incurrir para ejecutar el proyecto. Y poner en funcionamiento la alternativa. Los cargos totales se proporcionan a continuación:

**Tabla 17**  
*Costos de inversión con Proyecto - A precios de mercado*

DESCRIPCION	COSTO S/.
OBRAS PROVINCIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES	94,643.03
SUB ESTRUCTURA MURO DE CONTENCIÓN	1,092,806.30
CANAL ABIERTO CARAVISTA (CONDUCCION)	1,347,370.97
BOCATOMA	1,331,067.38
DESRIPIADOR	133,433.17
DESARENADOR	434,612.61
CAMARA DE CARGA	330,508.83
TUBERIA FORZADA	323,242.56
CASA DE MAQUINAS	1,180,517.13
CANAL DE DESCARGA	5,819.37
RESUMEN COSTO DE FLETE	206,626.95
IMPACTO AMBIENTAL	59,358.21
LINEA PRIMARIA PALMERAS L= 5 KILOMETROS	150,000.00
<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>6,905,391.97</b>
<b>GG (10% C.D.)</b>	<b>690,539.20</b>
<b>UTILIDADES (7% CD)</b>	<b>483,377.44</b>
<b>COSTO PARCIAL</b>	<b>8,079,308.60</b>
SUPERVISION(5% CD)	345,269.60
CAPACITACION	20,000.00
IGV (18%)	1,242,970.55
EXPEDIENTE TECNICO (3%)	207,161.76
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>9,586,709.32</b>

DESCRIPCION	Porcentaje %
Obras civiles (presa, toma, canales cámara de carga, sala de máquinas)	47
Compuertas (presa, toma cámara de carga)	1.4
Tubería forzada	14
Turbina y regulador de velocidad	9.4
Alternador excitatriz regulador de tensión	7
Sublineas de transmisión	14
SET	7
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	

Los costos de operación y mantenimiento (O&M) se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 18**  
*Costos de operación y mantenimiento de la Alternativa*

DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL
Operación (1%) PTP	99,637.64
Mantenimiento (2%) PTP	199,275.29
Costo total de (O&M)	298,912.93

Fuente: Equipo Técnico

Como estos proyectos pasan al gobierno central en busca de ser financiados por lo tanto serán administrados por empresas privadas (o en todo caso, son sujetos de operación y mantenimiento), son estas empresas quien dependerá concesionar con las empresas concesionarias de distribución, para así fijar precios (tarifas) que no afecten al usuario final que son los consumidores de energía eléctrica.

## Evaluación con beneficios Privados

Para la obtención de los beneficios privados se utiliza la tarifa de venta de energía extraída de los pliegos tarifarios por abonados y otros (puesto que el proyecto es una central hidroeléctrica se omite el costo de compra de energía), para la determinación de los beneficios se utilizan los siguientes datos.

**Tabla 19**  
*Tarifas de venta de energía eléctrica para baja tensión*

DESCRIPCION	COSTO	PLIEGO TARIFARIO
Tarifa Residencial ( cS/kW-h)	43.18	BTSB Residencial sin FOSE
Tarifa Alumbrado Público (cS/kW-h)	3.05	BTSB Residencial sin FOSE BT8
Cargo Fijo (S/. /mes)	1.64	BTSB Residencial sin FOSE

Fuente: Proyecto de Inversión pública de una presa en el Río Pacota

Los beneficios incrementales a precios privados fueron analizados durante los 20 años del proyecto empezando en el año 0 (2019). Las tablas resumen se muestran en el Anexo 4. De tal forma se analiza la rentabilidad del proyecto a precios privados por medio de la evaluación económica de C/B.

**Tabla 20**  
*Evaluación C/B a precios privados*

INDICADORES	RESULTADOS
Tasa de descuento %	8%
VAN S/	7,939,493.24
TIR %	15 %

Fuente: Equipo Técnico

Del análisis de sensibilidad que incide en que, a pesar del hecho de que las variables utilizadas en la evaluación también pueden sufrir fuertes modificaciones, el proyecto sigue siendo socialmente rentable salvo en el caso de que la ventaja financiera disminuya en más del 20%. Además, se ha recibido que la tasa interna de devolución TIR es mayor que la tasa mínima adecuada de devolución TMAR. Por lo tanto, el desafío es universal.

### **Evaluación social**

“Los beneficios sociales del proyecto se miden a través del ahorro de recursos y disposición a pagar por el servicio de energía eléctrica”.

Para hallar los costos sociales de ambas alternativas se utilizó el factor de corrección estimado de 0.8309, para electrificación rural.

**Tabla 21**

*Costos de inversión con Proyecto a precios sociales*

<b>COSTO DESAGREGADO C/PROYECTO - (Incluye IGV)</b>		<b>Costos a precios sociales</b>
<b>Rubro</b>	<b>Costo Total (S/.)</b>	<b>(S/.)</b>
Costo directo	6,905,391.97	5,455,259.66
Costo parcial	8,079,308.60	6,382,653.80
Presupuesto total de proyecto	9,963,764.44	7,939,493.24

Fuente: Equipo Técnico

### **3.3. Calculo y Selección del conjunto turbina generador requerido para la Central Hidroeléctrica del distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martín.**

En resumen, las características más importantes del Proyecto de la C.H. Nuevo Progreso definidas como resultado del estudio de factibilidad, sobre las cuales se ha desarrollado la ingeniería que se expone en el cálculo de ingeniería, y estos son los siguientes:

- Área de la cuenca de aprovechamiento: 0.59 km<sup>2</sup>
- Caudal de diseño: 2.2 m<sup>3</sup>/s

Diseño de la mini central hidroeléctrica de 700 kW

### **Altura de salto aprovechable**

Según el reconocimiento de los trabajos de campo y gabinete realizados, se ha determinado:

Salto Aprovechable Total: 51.22 m.

Máximas Perdidas en Canal Conducción: 1.065 m.

Máximas Perdidas en Tubería de Presión: 2.13m.

Salto Bruto / Disponible: 48.02 m.

De los resultados obtenidos, se observa que la pérdida de carga desde la Bocatoma hasta el Canal de Descarga; oscila en un aproximado del 15% del Salto Total.

Salto Neto: 41.76 m.

### **Caudal de diseño**

Para el cálculo de la potencia, así como el diseño de la compuerta de captación y canal de derivación, se ha tomado el caudal con el que trabajará la Minicentral 'Hidroeléctrica en su máxima demanda, a un mínimo caudal del rio Progreso en época de estiaje:  $Q = 2.2 \text{ m}^3/\text{s}$  para así garantizar el máximo caudal a captar”.

### **Tubería de forzada**

Acero;  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$  grado 60

Tubería de acero,  $d=12000 \text{ mm}$  (a presión)

Equipo Hidromecánico Juntas de Dilatación, Válvula de Emergencia y Apoyos Deslizantes

### **Selección del tipo de turbina**

Los parámetros necesarios para definir el tipo de turbina son la el salto o altura neta y el caudal de diseño (Salto Neto: 41.76 m. y  $Q = 2.2 \text{ m}^3/\text{s}$  ) con estos valores en la figura 19 se observa que el tipo de turbina es Francis en la categoría de Rápida, además se puede observar que la potencia se encuentra en la orden de 750 KW, de la misma manera en la tabla 6 se especifica que para el tipo de turbina Francis el salto neto se encuentra en la orden de 10 a 350 m, teniendo en nuestro caso un salto neto de 41.76 m con lo cual con la siguiente figura queda definido el tipo de turbina.

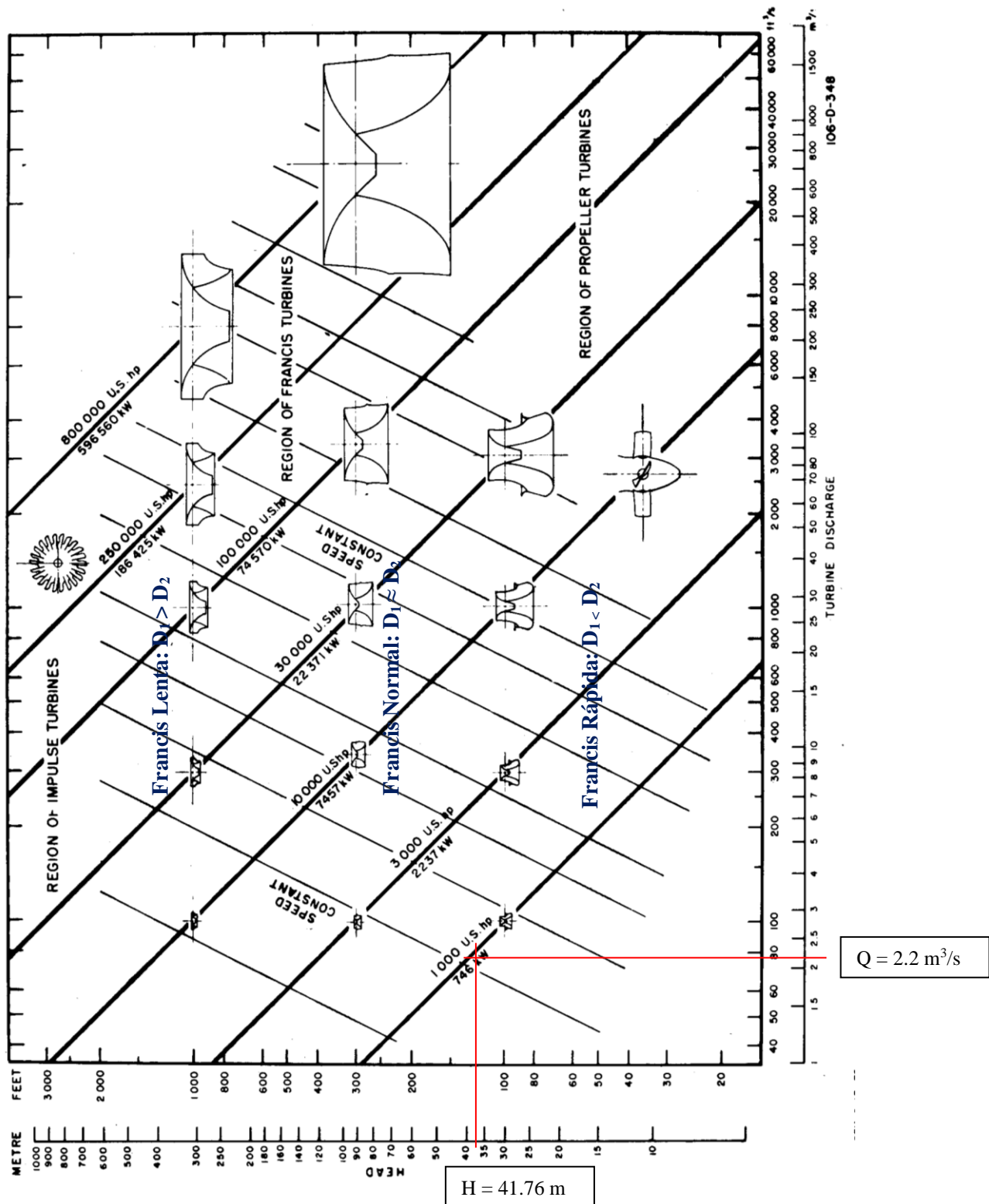


Figura 19. Esquema de selección de turbina en función de la altura neta y caudal de diseño. Fuente: U.S.B.R., "Selecting Hydraulic Reaction Turbines" (1976)

### **Potencia de salto de agua**

Es la potencia que entrega la turbina debido al intercambio de energía con el fluido de trabajo, de acuerdo a la ecuación (1) tenemos:

$$P_t = 1000 * 9.81 * 2.2 * 48.02 = 1036367.6 \text{ W}$$

$$P_t = 1036.4 \text{ kW}$$

### **Potencia de la turbina, es la potencia en el eje de la turbina**

$$P_{turbina} = \gamma * Q * H_{neta} * \eta_t$$

$$P_{turbina} = 1000 * 9.81 * 2.2 * 41.76 * 0.90 = 811137.9 \text{ W}$$

$$P_{turbina} = 811.14 \text{ kW}$$

Expresados en unidades de C.V. según la ecuación (2) tenemos

$$P_t = \frac{811.14 \text{ kW}}{0.7355 \text{ CV}} = 1102.84 \text{ CV}$$

**Potencia en el eje del generador**, es la potencia eléctrica suministrada por el generador de acuerdo a la ecuación (3)

$$P_g = \rho * g * Q * H_{neta} * \eta_T * \eta_G$$

Donde:

$\rho$ : densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$g$ : velocidad de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$Q$ : caudal de diseño

$H_{neta}$ : altura neta

Si admitimos las máximas pérdidas para el grupo turbina generador:

$$n_T = 0.90, n_G = 0.87$$

El rendimiento global del grupo turbina generador será:

$$n = n_T * n_G$$

$$n = 0.90 * 0.87 = 0.783$$

La potencia disponible en los bornes del generador eléctrico será:

$$P_g = 1000 * 9.81 * 2.2 * 41.76 * 0.783 W$$

$$P = 705689.96 W \approx 705.7 KW$$

**Potencia neta**, es importante determinar también la potencia neta que se obtendría considerando todas pérdidas tanto de transformación de la energía hidráulica como la transformación de la energía eléctrica y su transmisión.

$$P_{neta} = \rho * g * Q * H_{disp} * n_o W$$

Donde

$n_o = 0.783$  (Consideramos un rendimiento de la tubería, turbina, generador) Reemplazando los valores tenemos:

$$P_{neta} = 1000 * 9.81 * 2.2 * 41.76 * 0.783 W$$

$$P_{neta} = 705 689.96 \cong 705.689 KW$$

Para el desarrollo de la presente investigación se ha determinado la potencia de máxima demanda para el período 2019 – 2039, en 500 kW con ello estaríamos cumpliendo con la demanda en su totalidad.

### Número específico de revoluciones

Cada turbina se caracteriza por un régimen constante que incluye variables de diseño, denominadas velocidad exacta ( $N_s$ ), también denominada NÚMERO ESPECÍFICO DE REVOLUCIONES, teniendo la misma tasa para molinos que sean geoméricamente iguales y que rindan por debajo de condiciones hidráulicas comparables.

Según (International Water Power & Dam Construction, 1978) propone tres correlaciones para la aproximación de la velocidad especifica en función a los años de fabricación:

1960 – 1964	$N'_s = 2959 H_d^{-0.625}$
1965 – 1969	$N'_s = 3250 H_d^{-0.625} \dots\dots\dots(24)$

1970–1975

$$N'_S = 3470H_d^{-0.625}$$

Reemplazando en las correlaciones tenemos como primera aproximación el valor de  $N'_S$  cálculos con las tres correlaciones sin embargo trabajaremos con el valor cuya correlación corresponde a los años más actuales de fabricación.

$$1960–1964 \quad N'_S = 2959H_d^{-0.625} = 2959 * 41.76^{-0.625} = 287.19$$

$$1965–1969 \quad N'_S = 3250H_d^{-0.625} = 3250 * 41.76^{-0.625} = 315.43$$

(25)

$$1970–1975 \quad N'_S = 3470H_d^{-0.625} = 3470 * 41.76^{-0.625} = 336.79$$

Con este valor aproximado de  $N'_S = 336.79$  reemplazamos en la ecuación (5) despejando el valor de  $n$  (rpm):

$$n = \frac{N'_S * H_d^{5/4}}{P_t^{1/2}} = \frac{336.79 * 41.76^{5/4}}{1102.84^{1/2}}$$

$$n = 1076.6 \text{ rpm}$$

### Velocidad de Rotación Síncrona

El rodete de la turbina está acoplado por un eje (flecha) al rotor del generador (que es un motor eléctrico) y en consecuencia la velocidad de rotación del sistema turbogenerador debe ajustarse para que sea sincrónica  $N'$  con la frecuencia de oscilación de la electricidad eléctrica  $f$ , en consecuencia, la se ajusta la velocidad precisa de la turbina  $N_s$ . (Garcia y Nava, 2013)

Número de polos y velocidad de rotación síncrona:

Se utilizarán generadores síncronos de polos salientes que son empleados con las turbinas hidráulicas.

$$P' = 60 \times \frac{f}{N} \dots \dots \dots (26)$$

Donde:

$P'$ : par de polos del generador

$f$ : frecuencia de oscilación (Hz)

$N$ : número de revoluciones del generador (rpm)

$$P' = \frac{60 * 60}{1076.6} = 3.34 \text{ par de polos} \cong 4 \text{ pares de polos}$$

Recalculando el valor de  $N$  tenemos:

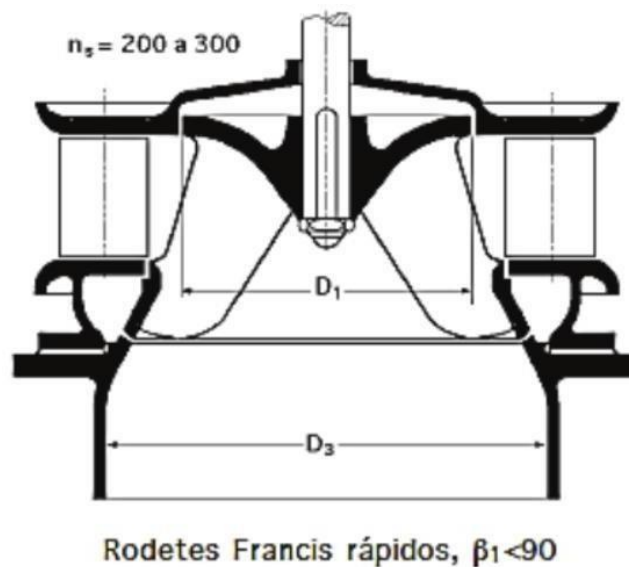
$$N = \frac{60xf}{P'} = \frac{60 * 60}{4} = 900 \text{ rpm}$$

Con este valor de  $N$  (rpm) recalculamos el valor real de la velocidad específica:

$$N_s = \frac{n * P_t^{\frac{1}{2}}}{H_d^{\frac{5}{4}}} = \frac{900 * 1102.84^{\frac{1}{2}}}{41.76^{\frac{5}{4}}}$$

$$N_s = 281.545 \cong 282$$

Con este valor del número específico de revoluciones podemos observar en la tabla 7 que corresponde a una turbina Francis de rodete rápido ( $D_1 < D_3$ ) según se muestra en la figura.



**Figura 20.** Rodete de una turbina Francis

Fuente: U.S.B.R., "Selecting Hydraulic Reaction Turbines" (1976)

Determinamos el Coeficiente de velocidad periférica y tamaño del rodete a la salida del rotor de la turbina a partir de las ecuaciones (18) y (19) se tiene:

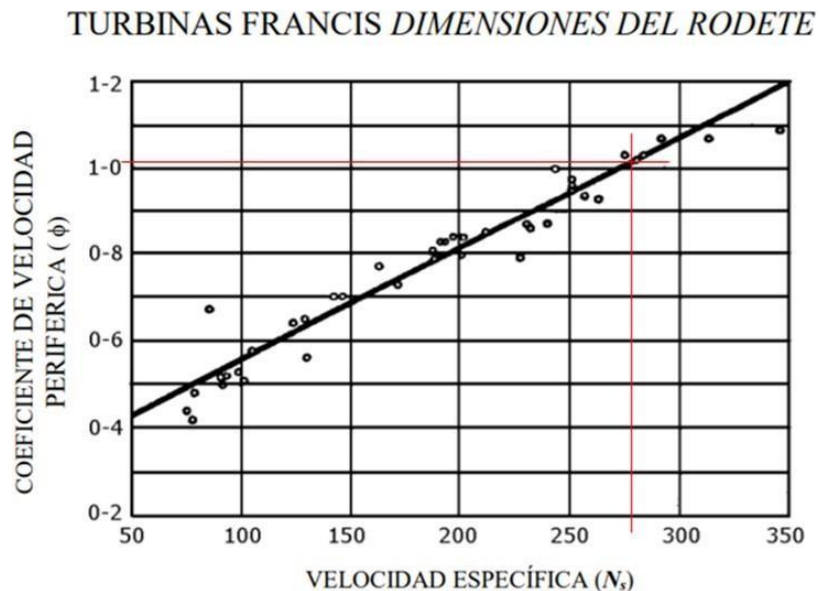
$$\phi = 0.31 + 2.5 \times 10^{-3} N_s = 0.31 + 2.5 \times 10^{-3} \times 288 = 1.05$$

Este parámetro también puede ser determinado a partir de la figura 21, en la cual se ingresa con el valor de la velocidad específica, confirmando el valor determinado con la ecuación (18)

$$D_3 = 84.5 \phi \frac{\sqrt{H_d}}{N} = 84.5 * 0.2232 * \frac{\sqrt{41.76}}{900} = 0.6158 \text{ m}$$

Entonces  $D_3 = 61.6 \text{ cm}$

Con los datos obtenidos del  $N_s$  y el coeficiente de velocidad se permite hallar las dimensiones del rodete bibliográficamente.



**Figura 21.** Dimensiones de Rodete de una Turbina Francis  
Fuente: U.S.B.R., “Selecting Hydraulic Reaction Turbines” (1976)

A continuación, a partir de las ecuaciones (20) determinamos los parámetros geométricos en función de  $N_s$  y  $D_3$  tenemos:

Diámetro de entrada ( $D_1$ )

$$\frac{D_1}{D_3} = 0.4 + \frac{94.5}{N_s} = 0.4 + \frac{94.5}{282} = 0.735$$

Diámetro medio (D2)

$$\frac{D_2}{D_3} = \frac{1}{0.96 + 0.00038N_s} = \frac{1}{0.96 + 0.00038 * 282} = 0.9371$$

Distancia de D1 al eje del distribuidor

$$\frac{H_1}{D_3} = 0.094 + 0.00025N_s = 0.094 + 0.00025 * 282 = 0.1645$$

Distancia del eje del distribuidor a D3

$$\frac{H_2}{D_3} = \frac{1}{3.16 - 0.0013N_s} = \frac{1}{3.16 - 0.0013 * 282} = 0.3589$$

Finalmente:

$$D_1 = 0.4527 \text{ m}$$

$$D_2 = 0.5771 \text{ m}$$

$$H_1 = 0.1013 \text{ m}$$

$$H_2 = 0.2205 \text{ m}$$

Calculo geométrico de la carcasa o caracol, en las ecuaciones 21 reemplazamos y resolvemos en función de  $N_s$  y  $D_3$ :

$$\frac{A}{61.6} = 1.2 - \frac{19.56}{282} \quad A = 69.6 \text{ cm}$$

$$\frac{B}{61.6} = 1.1 + \frac{54.8}{282} \quad B = 79.7 \text{ cm}$$

$$\frac{C}{61.6} = 1.32 + \frac{49.25}{282} \quad C = 92.0 \text{ cm}$$

$$\frac{D}{61.6} = 1.5 + \frac{48.8}{282} \quad D = 103.0 \text{ cm}$$

$$\frac{E}{61.6} = 0.98 + \frac{63.60}{282} \quad E = 74.2 \text{ cm}$$

$$\frac{F}{61.6} = 1 + \frac{131.4}{282} \quad F = 90.3 \text{ cm}$$

$$\frac{G}{61.6} = 0.89 + \frac{96.5}{282} \quad G = 75.9 \text{ cm}$$

$$\frac{H}{61.6} = 0.79 + \frac{81.75}{282} \quad H = 66.5 \text{ cm}$$

$$\frac{I}{61.6} = 0.1 + 0.00065 * 282 \quad I = 17.4 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{61.6} = 0.88 + 0.00049 * 282 \quad L = 62.7 \text{ cm}$$

$$\frac{M}{61.6} = 0.60 + \frac{0.000015}{282} \quad M = 36.9 \text{ cm}$$

Calculo geométrico del tubo de aspiración, en las ecuaciones 22 reemplazamos y resolvemos en función de Ns y D<sub>3</sub>:

$$\frac{N}{61.6} = 1.54 + \frac{203.5}{282} \quad N = 139.3 \text{ cm}$$

$$\frac{O}{61.6} = 0.83 + \frac{140.7}{282} \quad O = 81.8 \text{ cm}$$

$$\frac{P}{61.6} = 1.37 - \frac{0.00056}{282} \quad P = 84.4 \text{ cm}$$

$$\frac{Q}{61.6} = 0.58 + \frac{22.6}{282} \quad Q = 40.6 \text{ cm}$$

$$\frac{R}{61.6} = 1.60 + \frac{0.0013}{282} \quad R = 98.5 \text{ cm}$$

$$\frac{S}{61.6} = \frac{282}{-9.28 + 0.25 * 282} \quad S = 283.7 \text{ cm}$$

$$\frac{T}{61.6} = 1.50 + 0.00019 * 282 \quad T = 95.7 \text{ cm}$$

$$\frac{U}{61.6} = 0.51 + 0.0007 * 282 \quad U = 43.6 \text{ cm}$$

$$\frac{V}{61.6} = 1.10 + \frac{53.7}{282} \quad V = 79.5 \text{ cm}$$

$$\frac{Z}{61.6} = 2.63 + \frac{33.8}{282} \quad Z = 169.3 \text{ cm}$$

En el anexo 06 se presentan los planos de la caracterización geométrica del diseño de la turbina Francis.

### **Características técnicas de la turbina Francis**

Tipo: Francis

Salto neto: 41.76 m.

Caudal neto: 2.2 m<sup>3</sup>/s

Velocidad nominal: 900 rpm

No unidades: 1

Por las condiciones de poca caída (41.76 m) y caudal considerable (2.2 m<sup>3</sup>/s) se ajusta a nuestro proyecto una turbina Francis de rodete rápido, por tanto, usaremos una Turbina Francis rápida de eje horizontal de 811.14 kW de potencia y 900 rpm que deberá incluir carcasa, distribuidor, tubo de succión y cojinetes, cuyo óptimo diseño hidráulico garantizará un alto rendimiento además que su diseño reforzado dará una vida útil de muchas décadas en servicio continuo

Después de realizar el análisis bibliográfico y mediante cálculos se presenta la siguiente tabla.

**Tabla 23**

*Parámetros de selección de parámetros de turbina*

<b>PARAMETRO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>REFERENCIA</b>
Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)	2.2	Dato Hidráulico
Altura Neta H (m)	41.76	Dato topográfico
Gravedad g (m <sup>2</sup> /s)	9.81	Constante
Potencia P (KW)	700	
Longitud L (m)	60	Dato topográfico
Altura Efectiva He (m)	51.22	Diseño de tuberías
Rendimiento de la turbina nt	0.90	Valor asumido estándar
Rendimiento generador ng	0.87	Valor asumido estándar
Rendimiento global n	0.78	Valor calculado
Frecuencia f (Hz)	60	Del sistema regional

Nota. Fuente: Elaboración propia

### ***3.4 Selección de los equipos electromecánicos para la Central Hidroeléctrica del distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martín.***

#### **Selección del generador**

##### **Características del generador:**

Se utilizarán generadores síncronos de polos salientes que son empleados con las turbinas hidráulicas.

$$P' = 60 \times \frac{f}{N}$$

Donde:

$$f = 60 \text{ Hz}, N = 900 \text{ rpm}$$

$$P' = 60 \times \frac{60}{900} = 4 \text{ pares de polos} = 8 \text{ polos}$$

En el mercado sí se encuentran alternadores de esas características.

##### **Potencia Nominal:**

La potencia efectiva que entregará cada generador estará dada por la siguiente expresión:

**Potencia de la turbina, es la potencia en el eje de la turbina**

$$P_{turbina} = \gamma * Q * H_{neta} * \eta_t$$

$$P_{turbina} = 1000 * 9.81 * 2.2 * 41.76 * 0.90 = 811137.9 \text{ W}$$

$$P_{turbina} = 811.14 \text{ kW}$$

Potencia del Generador Síncrono  $\approx 811.14 \text{ kVA}$

Expresados en unidades de C.V. según la ecuación (2) tenemos

$$P_t = \frac{811.14 \text{ kW}}{0.7355 \text{ CV}} = 1102.84 \text{ CV}$$

Tensión de generación y frecuencia:

Los alternadores deberán generar energía eléctrica a plena carga y en servicio continuo a 60 Hz , que es la frecuencia generalizada en nuestro país.

Tensión de generación 380/220 voltios (Generadores existentes en el mercado).

### **Tablero de control y protección**

#### **- Tablero de control principal**

El tablero de control está constituido por medidores indicadores, anunciadores, interruptor de protección e instrumento registrador.

La distribución de los elementos del tablero es hacia cierto punto arbitraria y depende de los criterios de diseño ya establecidos en los resultados anteriores.

#### **- Interruptor principal**

Para la unidad de la central diseñada se deberá contar con un interruptor principal.

Para la protección del sistema de generación, utilizaremos un interruptor del tipo termo magnético que accionará cuando ocurra un corto circuito exterior o cuando suceda una sobrecarga (corriente limite).

#### **- Protección del sistema**

En la protección del generador además del interruptor termo magnético se utilizarán los siguientes dispositivos:

- Tres pararrayos conectados a la línea de servicio, para proteger contra las sobretensiones de origen atmosférico.
- Un relé de máxima tensión temporizado con desconexión instantánea a la tensión limite (sobretensión a la frecuencia normal)
- La protección contra sobretensiones es necesaria para aislar las fallas que los pararrayos no previenen adecuadamente; están ubicados lo más cerca posible de los terminales del generador. Esta protección evita daños en el aislamiento y posibles sobretensiones entre los devanados del generador.
- Un relé de potencia inversa (retorno de potencia), para la protección del generador contra cortos circuitos entre aspiras (corto circuito interior).

## Diseño de sistemas de protección

### - Intensidad en alta tensión

En un transformador trifásico la intensidad del circuito primario  $I_p$  viene dada por la expresión:

$$I_p = S / (1.732 \times V_p)$$

Donde:

$S$  = Potencia del transformador en kVA.

$V_p$  = Tensión compuesta primaria en kV.

$I_p$  = Intensidad primaria en A.

Sustituyendo valores:

Transformador	S (kVA)	$V_p$ (kV)	$I_p$ (A)
Transformador de Potencia, Potencia Nominal 700 KVA; 22.9/0.23 kV	700	22.9	17.6

### - Intensidad en baja tensión

En un transformador trifásico la intensidad del circuito secundario  $I_s$  viene dada por la expresión:

$$I_s = (S \times 1000) / (1.732 \times V_s)$$

Donde:

$S$  = Potencia del transformador en kVA.

$V_s$  = Tensión compuesta secundaria en V.

$I_s$  = Intensidad secundaria en A.

Sustituyendo valores:

Transformador	S (kVA)	$V_s$ (kV)	$I_s$ (A)
Transformador de Potencia, Potencia Nominal 700 kVA; 22.9/0.38 kV	700	380	1064

- **Cálculo de corrientes de cortocircuito**

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuito utilizaremos las siguientes expresiones:

- Intensidad primaria para cortocircuito en el lado de Alta Tensión:

$$I_{ccp} = S_{cc} / (1.732 \times V_p) ;$$

donde:  $S_{cc}$  = Potencia de cortocircuito de red en MVA.

$V_p$  = Tensión compuesta primaria en kV.

$I_{ccp}$  = Intensidad de cortocircuito primaria en kA.

- Intensidad secundaria para cortocircuito en el lado de Baja Tensión

$$I_{ccs} = (100 \times S) / (1.732 \times V_{cc}(\%) \times V_s); \text{ donde}$$

$S$  = Potencia del transformador en kVA.

$V_{cc} (\%)$  = Tensión de cortocircuito en % del transformador.

$V_s$  = Tensión compuesta en carga en el secundario en  
Cortocircuito en el lado de Alta tensión:

$S_{cc}$ (MVA)	$V_s$ (kV)	$I_{ccp}$ (kA)
400	22.9	10.1

Cortocircuito en el lado de Baja tensión:

Pot (kVA)	$V_s$ (V)	$V_{cc} (\%)$	$I_{ccs}$ (kA)
700	380	4	19

**Descripción detallada de los paneles de la Sala de Control:**

- Panel de control y mando del grupo.

Este panel estará equipado con los siguientes equipos e instrumentos:

- Esquema mímico del grupo.
- Dos voltímetros de corriente alternan 0 – 600 V para el generador y otro 0 – 15 V para la salida.

- Dos conmutadores voltimétricos 0-RS-ST-TR uno para cada voltímetro
- Un equipo multifunción para la lectura de corriente, watts, var, frecuencia, cosfímetro
- Un indicador de velocidad del grupo
- Equipo de señalización
- Un equipo de alarma luminosa para el grupo
- Llaves de mando para interruptor principal
- Llave bloqueo con la opción a sincronizar, se operará en la columna de sincronización existente en la central
- Todos los relés auxiliares necesarios para la operación del grupo

### **Panel de protección del grupo**

Este tablero estará dotado de los siguientes equipos:

- 1 relé de frecuencia 81
- 2 relés de sobre corriente 51G para dos fases
- 1 relé de sobrecarga 49G
- 1 relé de desequilibrio de carga 46G
- 1 relé de inversión de potencia 32 G
- 1 relé de falla a tierra del estator 64G
- 1 relé de sobretensión 59
- Lámparas de señalización para la indicación del estado operativo de los aparatos de protección

#### IV. Análisis y discusión

El primer paso en nuestro trabajo de investigación fue la caracterización de las precipitaciones pluviales caídas en toda las sub cuencas y áreas que contiene la cuenca alta del río Pacota, hasta la zona considerada en el estudio, por ello se consideró las estaciones Pluviométricas que influyen en la Cuenca en estudio hasta el punto de descarga, estas fueron analizadas desde el año 1998 al 2017, el análisis se basa en el valor máximo, mínimo y medio (tabla 10 – 13) para 20 años de registro cuya fuente fue SENAMHI. Ello permitió determinar el caudal de las descargas y el caudal neto donde se incluye la evaporación e infiltración (tabla 15). Este procedimiento coincide con la propuesta de García G. y Nava M. (2013), Quienes indican que es muy "importante determinar los registros hidroeléctricos del río o de cualquier otro aprovechamiento hidráulico, dichos estudios deben recordar la forma en que la central hidroeléctrica entregará el aparato eléctrico al que se va a interconectar", de forma similar a una simulación de la operación en escenarios para decidir las características energéticas de un aprovechamiento hidroeléctrico, junto con: el grado máximo común en el embalse, la extensión común anual vertida, la evaporación media anual y la deriva común utilizada.

El segundo paso fue evaluar el diagnóstico de la situación actual de los servicios de energía eléctrica de la zona, se obtuvo que la demanda de energía tiene crecimiento lineal y aumenta aproximadamente 1 kW por cada año, basado en ello se propone la implementación de una Mini Central Hidroeléctrica para proveer energía eléctrica para las localidades comprendidas dentro de la zona del proyecto y se justifican con los cálculos respectivos, con una dotación de 700 W. Este análisis coincide con Rojas B. y Arteaga R. (2014) quienes centraron su análisis en el costo final de la energía eléctrica para la instalación de una central hidroeléctrica en un centro poblado, los parámetros fueron consumo de energía eléctrica, actividades comerciales, número de viviendas, número de habitantes, servicios básicos como postas médicas o escuelas. A partir de ello estimaron la demanda de potencia y energía eléctrica usada en la zona, así como también la

estimación futura, esa misma metodología fue la usada por nosotros coincidiendo plenamente.

El tercer paso fue la selección de la turbina para ello se usó la altura neta y el caudal de diseño ( $H = 41.76$  m. y  $Q = 2.2$  m<sup>3</sup>/s) determinándose a partir de un nomograma una turbina Francis en la categoría de Rápida (anexo 5), esto también fue corroborado con número específico de revoluciones de 282 confirmando la turbina Francis de rodete rápido ( $D_1 < D_3$ ) (tabla 7). Esta metodología de selección de turbina coincide con Asenjo G. (2018) y Gutiérrez Ll. (2016) quienes determinaron la turbina de la minicentral hidroeléctrica donde los criterios para elegir el tipo de turbina fueron en virtud de las características del salto neto y el caudal, que definen un punto en un plano envolvente correspondiente a un tipo de turbina, además se basaron en los rangos de velocidad específica o número específico de revoluciones.

## V. Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se caracterizó los parámetros hidráulicos requeridos para el diseño de una central hidroeléctrica cuya capacidad es de 700 kW de potencia instalada, en el distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martín cuya finalidad es dotar de acceso de la población de las 22 localidades a fuentes de energía eléctrica estable, confiables y eficientes.

Se evaluó el potencial hídrico de la cuenca del río Pacota proveniente del ubicado en distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martín, el análisis hidrológico de la Cuenca del río PACOTA se realizó mediante el modelo hidrológico, apoyados con herramientas GIS para su digitalización, de las demarcaciones de la cuenca, luego se obtuvo los hidrogramas de máximas avenidas y los caudales de máximas avenidas para el periodo de 20 años, para el río Pacota el caudal neto es de  $1.748 \text{ m}^3/\text{s}$ , además de un caudal demandado de  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , durante 10 horas de funcionamiento, obteniéndose un total de disponible para el diseño de  $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Se realizó un diagnóstico de la situación actual de los servicios de energía eléctrica en el distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martín obteniéndose que la población aumenta desde 11514 hasta 12111 con una tasa poblacional de 0.2531% esto implica que la demanda de energía es de crecimiento lineal y aumenta aproximadamente 1 kW por cada año hasta un cantidad de 241.1 kW, según la evaluación de otras poblaciones de 10000 a 20000 habitantes requiere una demanda de potencia de 500 a 1200 kW, justificándose la potencia de 700 kW en proyecto.

Se realizó los cálculos de los equipos principales componentes de la Central Hidroeléctrica del distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martín por las condiciones de poca caída (41.76 m) y caudal considerable ( $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) se determinó una turbina Francis de rodete rápido de eje horizontal cuya potencia en el eje es de 811.14 kW y una potencia en los bornes del

generador eléctrico de 705.7 kW y 900 rpm para ello se determinó las dimensiones geométricas de la carcasa, distribuidor, tubo de succión mostrados en el anexo 6.

Se determino la selección de los equipos electromecánicos, requerido para la Central Hidroeléctrica del distrito de Nuevo Progreso, provincia de Tocache - San Martín obteniéndose un generador eléctrico síncrono de polos salientes, frecuencia de 60 Hz, 900 rpm, y 4 pares de polo, el tablero de control y protección y el sistema de protección del sistema constara de un transformador de Potencia cuya Potencia Nominal 700 KVA; 22,9 / 0,38 Kv, las corrientes de cortocircuito en alta tensión 10.1 kA y baja tensión 19 KA. Se realizo una evaluación del sistema de protección de la subestación el cual se seleccionó el tipo malla a tierra el cual garantiza la protección personal y medio de disipación de corrientes.

## **VI. Recomendaciones**

Es importante la necesidad de generar fuentes de ingreso propios, para beneficio de los pobladores de las comunidades de esta zona de nuestro país; es por ello que esta investigación debería masificarse para otras zonas que tienen el potencial hídrico necesario las centrales de generación hídrica deben poco a poco posicionarse en el mercado energético reemplazando a las centrales térmicas.

Es importante impulsar el incremento de investigaciones, en proyectos de energías renovables aprovechando que nuestro país cuenta altas potencialidades de recursos hídricos que no se aprovechan en su totalidad, aportando así a la conservación del medioambiente y disminuir los efectos nocivos del calentamiento global de la tierra.

Es importante la ubicación de las obras civiles y electromecánicas, porque favorece al impacto ambiental que se tendría debido pues estando cerca de la zona de utilización del recurso, los ruidos generados por las máquinas eléctricas serían constantes generando incomodidad de la población.

Es importante que se implemente en la Universidad San Pedro, un laboratorio con instrumentación adecuada para fines de investigación en sistemas hidráulicos y turbomáquinas y otros fenómenos relacionados con la hidromecánica, con la finalidad de aportar conocimiento y complementar la tecnología en esta zona de nuestro país.

## VII. Referencias bibliográficas

Asenjo G. (2018). *Repotenciación de la minicentral hidroeléctrica la playa ubicada en el distrito de Incahuasi provincia de Ferreñafe departamento de Lambayeque*. (Tesis de grado). Universidad Señor de Sipán. Pimentel–Perú.

Canchaya C. y Chero V. (2014). *Estudio y diseño a nivel preliminar de una pequeña central hidroeléctrica en el distrito de Comas, provincia de concepción perteneciente al departamento de Junín*. (Tesis de grado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima – Perú.

CENERGIA (2015). *Servicio de medición y cálculo de la potencia efectiva de la central hidroeléctrica Moyopampa*. Informe Final. Edegel SAA.

Chuque S. y Ayllon C. (2012). *Estudio técnico y económico del potencial hidroenergético de la cuenca de Lircay para la instalación de una central hidroeléctrica de 9100 kW, Angaraes - Huancavelica*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo – Perú.

Coz, Federico y otros. (1995). *Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas*. Intermediate Technology Development Group, ITDG –Perú, Lima, 1995. p.127.

Dávila, C. et al. (2010). *Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de micro centrales hidroeléctricas*. Lima: Soluciones Prácticas, 2010. 200 p.

Encinas, M. (1976). *Turbomáquinas hidráulicas: principios fundamentales*.

Editorial Limusa.

Espitia, R. (2013). *Diseño de una pequeña central hidroeléctrica a escala laboratorio utilizando aguas lluvias del bloque A de la Universidad Libre, sede Bosque Popular*. (Tesis de grado). Universidad Libre Colombia. Bogotá – Colombia.

García, G. y Nava, M. (2013). *Selección y dimensionamiento de Turbinas hidráulicas para Centrales hidroeléctricas*. Primera edición - México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2013, 113 p.

Gutiérrez, Ll. (2016). *Diseño de una mini central hidroeléctrica, para suministrar energía al recreo turístico La Catarata – distrito, provincia - Jaén, departamento - Cajamarca -2016*. (Tesis de grado). Universidad Cesar Vallejo. Jaen – Perú.

International Water Power & Dam Construction. Revista, agosto 1976, diciembre 1977, enero 1978, diciembre 1978. Global Trade Media, United Kingdom.

ITDG Perú (1995). *Manual de Mini y Micro centrales Hidráulicas" Una guía para el desarrollo de proyectos*. Intermediate Technology Development Group, ITDG-PERÚ.

López, G. (2010). *Elaboración e implementación de un software para el diseño de turbina axial tipo bulbo de hasta 10 MW*. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba – Ecuador.

Mamani M. (2017). *Estudio y diseño a nivel de perfil de una central*

*hidroeléctrica en el río blanco, distrito de San Gabán, provincia de Carabaya, departamento de Puno.* (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.

Mataix, C. (1975). *Turbomáquinas Hidráulicas*. Madrid: ICAI.

Pérez, P. (2011). *Grupo de generación Kaplan tubular para 3.0 KW de capacidad.* (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima – Perú.

Philler, M. y Nigel S. (2001). *Manual de pico-hidro.* (UK Department for International Development (DfID). Edición 2. 2001. Gran Bretaña.

Quantz, L. (1992). *Motores Hidráulicos" Construcción y cálculo de las instalaciones modernas de fuerza hidráulica.* L. Quantz. Editorial Gustavo Gilí, SA.

Rojas, B. y Arteaga, R. (2014). *Diseño de una micro central hidroeléctrica para el análisis del costo final de la energía eléctrica para un centro poblado. Caso Rurashca, Ancash.* (Tesis de grado). Universidad Nacional del Santa. Nuevo Chimbote – Perú.

U.S.B.R., "*Selecting Hydraulic Reaction Turbines,*" (A Water Resource Technical Publication), United States Department of The Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Co., USA, 1976.

Zamora, B. y Viedma, A. (2016). *Maquinas Hidráulicas.* (Primera ed.). Cartagena: rai UPCT.

## **Lincografía**

Blog Cómo Funciona, revisado el 19 de diciembre del 2020. Recuperado de: <https://como-funciona.co/una-turbina-hidraulica/>

Facultad de Tecnología UMSA (2021). Revisado el 10 de diciembre del 2020. Recuperado de:

<http://etm2021.com/smaterias/ETM351/Turbinas%20H2O/Turbinas%20-%20Teor%C3%ADa/Pelton.htm>

Universidad Politécnica de Valencia (Blog). Revisado el 9 de diciembre del 2020. Recuperado de:

<https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/01/16/turbina-francis/>

The Construction Encyclopedia (Blog). Revisado el 22 de diciembre del 2020. Recuperado de:

[www.theconstructor.org/wp-content/uploads/2010/09/Francis-turbine-main-components](http://www.theconstructor.org/wp-content/uploads/2010/09/Francis-turbine-main-components).

TEV.CAP.2@ 2001. Hidropower in Norway. Arne Kjølle. Professor Emeritus. Norwegian University of Science and Technology. Diciembre de 2001. Revisado el 24 Junio de 2020. Recuperado de:

<http://www.tev.ntnu.no/vk/publikasjoner/pdf/ArneKjolle/chapter2.pdf>

Universidad de las Fuerzas Armadas. Diseño y desarrollo de un prototipo de una Turbina Kaplan 3D. Revisado el 4 agosto de 2020. Recuperado de:

<https://app.emaze.com/@AZIZQWLW#7>

## **VIII. Agradecimientos**

A Dios, por darme fortaleza y la oportunidad de alcanzar una de mis anheladas metas.

A mi familia, por su preocupación y comprensión hacia mi logro personal, apoyándome durante mis años de estudios.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad San Pedro por darme la oportunidad ser parte de ella, permitiéndome adquirir conocimientos útiles para la vida profesional

*Montecinos Cueva, Yerson Noe*

## IX. Anexos y apéndices

### Anexo 1.

- *Estación Tananta: Precipitación máxima 24 horas*

ESTACIÓN TANANTA PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS													
PERIODO: 1998 - 2017													
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prec. Max (mm)
1998	91.3	86.9	54.1	36.7	37.3	59.3	20.6	30.7	30.6	58	150.9	53.7	150.9
1999	97	84.2	150.6	50	49.3	37.5	12.2	39.6	47.7	57	27.7	75	150.6
2000	57	45	71.8	42	50.7	61	39.4	64	39	68	42	97	97
2001	91.4	50.3	19.5	31.3	64.5	48	8.6	34	46.8	118	37	80.4	118
2002	114.6	77	70	51.2	22.7	1.2	30.8	11.4	59.6	68.3	86.8	91.7	114.6
2003	86.2	56	84.7	47.6	36.4	26.9	28.8	28.8	59.2	62.4	52.2	51.5	86.2
2004	60.5	71.6	51.9	34	41.7	26.2	63	22.8	35.2	48.3	49.5	95.9	95.9
2005	48.9	61.6	65.3	38.9	7.3	39.5	17.2	6.4	15.1	49.5	51	60.8	65.3
2006	53.6	50.7	46.2	56.8	37.8	36.3	48.2	23.3	64.7	29.6	60	70.5	70.5
2007	27.7	56.5	71.1	27.9	45.1	24.5	19.9	41.3	13.8	73.2	68.8	46.8	73.2
2008	73.9	68.3	61.4	63.5	28.1	49.9	14.3	36.6	61.8	56.8	74.5	62.2	74.5
2009	86.7	174.2	72.1	52	75.5	11.5	29.9	17.3	16.2	50.5	44.6	55.5	174.2
2010	49.3	91.3	85.3	80.7	84.1	22.2	41.8	21.8	S/D	66.5	62.9	30	91.3
2011	69.5	146.6	32.7	34.9	52.8	64.9	59.7	16.1	18.4	50.4	45.3	65.1	146.6
2012	79.4	104.2	19.7	33	33.4	16.3	27.6	39.7	85.1	70.9	124.6	40.7	124.6
2013	32.4	97.9	42.3	65.7	48.5	34.4	21.7	57.2	72.1	56.7	73.3	45.3	97.9
2014	64.5	64.1	61.4	36.9	51.3	22	23.6	21.6	46.7	42	75.1	63.9	75.1
2015	51.2	47.7	60.4	48.3	62.2	35.8	37.4	33.7	19.3	38.7	44.7	59.1	62.2
2016	100.5	43.9	45.3	63.2	40.8	51.3	9.7	79.3	74.1	112.2	96.4	74.2	112.2
2017	55.7	109	87.8	53	38.5	9.4	19.7	61.7	45.7	38.1	64.3	62.5	109
MAX.	114.6	174.2	150.6	80.7	84.1	64.9	63	79.3	108.3	118	150.9	135.4	174.2
MED.	68.17	71.25	61.49	48.91	41.98	32.56	30.56	34.68	48.37	61.99	70.9	65.93	71.25
MIN.	27.7	8	19.5	24	7.3	1.2	8.6	6.4	13.8	29.6	27.7	22.9	29.6
D. EST	22.09	35.86	26.63	14.67	17.72	17.05	15.52	19.54	23.4	20.48	28.63	23.7	35.86

Fuente: SENAMHI

- Estación Tingo María: Precipitación máxima 24 horas

ESTACIÓN TINGO MARIA PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS													
PERIODO: 1998 - 2017													
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prec. Max (mm)
1998	52.5	87	74.5	63.3	156	83	16.4	27.5	36.9	97.1	72.2	54.8	156
1999	57.1	78.3	82.6	66.3	116.5	52.2	48	22.3	22.7	26.1	71.8	94	116.5
2000	88.5	64.5	54.6	24.1	20.9	60.9	85.6	20.5	32.8	53.4	51.7	65.4	88.5
2001	95.9	45.8	71.8	38.7	67.7	28.3	43.3	7.4	88.3	35.5	79	43.9	95.9
2002	72.2	78.8	123.1	72.7	64.7	46.9	40.7	28.9	61.3	46	65.2	60.4	123.1
2003	33.8	106	51.7	54.6	149.7	94.6	23.5	57.1	58.4	111.2	86	103.3	149.7
2004	64.1	67.8	80	50	38.1	13.8	79.6	27.5	33.4	48.5	68.2	46.1	80
2005	48.8	92.6	94.7	23.3	37.5	43.7	37.5	25.7	54.3	58.7	66.8	97.5	97.5
2006	54.8	108	53	80.5	41.9	20.5	42	30.6	68.1	68.9	96	64.5	108
2007	70.5	35	69.8	51.5	35.8	4.9	35.5	29.1	27.8	48.3	61.8	60.9	70.5
2008	69.5	88.6	65.5	31.7	34.9	26.5	35	14.5	24.6	95.8	28.8	32.9	95.8
2009	78.2	53	48.5	55.5	65.6	27.4	35.5	34.8	39.8	34.4	41.8	56.7	78.2
2010	46	64.4	69.9	30.3	23.7	26.9	55.7	22	45.3	51.4	68.4	66.3	69.9
2011	105	66.3	85.3	64	44	37.6	21.7	26	79.6	47.2	60.5	38.8	105
2012	58.9	51.5	103.7	52.2	43	33.7	9.6	15.8	28.8	55.1	48.5	61.6	103.7
2013	98	96.5	65.3	115	32.4	59.7	18.8	37.8	121	69.2	44.2	53	121
2014	44.7	42.4	73.2	43.8	36.8	46	18.6	10.8	56.5	148	65.5	75.9	148
2015	59.8	122.5	55.7	107.7	74.8	21.8	101.2	8.7	63.1	36	58.1	58.9	122.5
2016	89.3	54	46.8	44.4	60.7	73.6	47.5	27.4	26.6	27.7	63.6	49	89.3
2017	42.1	77.1	94.7	56.7	58.2	59.6	10	33.2	68.8	64.2	103.5	66.8	103.5
<b>MAX.</b>	<b>133</b>	<b>122.5</b>	<b>123.1</b>	<b>115</b>	<b>156</b>	<b>94.6</b>	<b>101.2</b>	<b>57.1</b>	<b>121</b>	<b>148</b>	<b>103.5</b>	<b>149.2</b>	<b>156</b>
<b>MED.</b>	<b>70.91</b>	<b>72.13</b>	<b>68.59</b>	<b>57.83</b>	<b>58.71</b>	<b>42.45</b>	<b>41.52</b>	<b>25.62</b>	<b>53.09</b>	<b>62.3</b>	<b>65.01</b>	<b>68.5</b>	<b>72.13</b>
<b>MIN.</b>	<b>33.8</b>	<b>25</b>	<b>27.5</b>	<b>23.3</b>	<b>20.9</b>	<b>4.9</b>	<b>9.6</b>	<b>7.4</b>	<b>22.7</b>	<b>26.1</b>	<b>28.8</b>	<b>32.9</b>	<b>33.8</b>
<b>D.EST</b>	<b>23.87</b>	<b>24.97</b>	<b>22.2</b>	<b>23.71</b>	<b>34.79</b>	<b>21.22</b>	<b>23.28</b>	<b>10.77</b>	<b>23.13</b>	<b>29.07</b>	<b>17.08</b>	<b>25.95</b>	<b>34.79</b>

Fuente: SENAMHI

- Estación Aucayacu: Precipitación máxima 24 horas

ESTACIÓN AUCAYACU PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS													
PERIODO: 1998 - 2017													
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prec. Max (mm)
1998	70.1	95	53	95	55	58	46	61	62	57	45	56	95
1999	58	42.5	76.4	29	28	57	45	15	24	76	30	60	76.4
2000	74	55	71	37	52.5	66	55.5	66.7	52	49	60	102	102
2001	39.5	81	17.5	19	47	18	42	84	45	15.5	46.5	69.8	84
2002	87	85	42.5	59.5	51.7	45	50.5	30	41.8	24.2	40.4	60	87
2003	70.4	80	82	84.4	12	28	14	63	40	45	38	104	104
2004	77	55.2	64	66.2	31.5	26	27.4	13	65.2	68.6	93.2	55.2	93.2
2005	62.4	102	60.2	38.2	36	39	16.2	48	29.2	60.2	48.2	56.1	102
2006	96	69.8	72.5	48.6	70.4	68	30.4	55.5	72.5	88.4	60.6	68.9	96
2007	70.4	50.8	36.8	66.2	73.6	12.5	28.4	28.4	12	48.8	50.4	60.2	73.6
2008	68.8	89.3	71	71.4	23.8	28.5	38.4	30.5	24.4	44	61	95	95
2009	50.4	63.9	61.5	36.2	44.2	38.5	47.2	72.5	40	70.4	47	S/D	72.5
2010	44.2	72.4	67.5	63.3	52.2	23.8	25.6	17.6	36.5	34.5	41.6	74.5	74.5
2011	96	52.6	57	70.8	32.4	37.5	123	20.2	37.6	67.2	70.5	104.2	123
2012	55.8	65.4	48.8	73.2	32.6	24.7	32.5	25	42.5	58.8	87.2	65.8	87.2
2013	60.3	74.9	91.2	80.8	96.9	45.5	44.5	36.2	59.5	72.6	94.8	90.6	96.9
2014	56.4	48.9	73.8	29.4	61.2	70.8	45.5	18.6	40	60.4	58.6	39.6	73.8
2015	65	55	56	47.2	51.1	22.2	78.5	19.8	29.2	43	89.6	182.7	182.7
2016	S/D	76.4	66.2	67.5	39.4	53.2	17.2	40.2	31.2	55.2	102.6	110.4	110.4
2017	60.2	98.2	109.2	57	76.4	36.4	32.8	59.8	58.8	68.4	87.4	68.8	109.2
<b>MAX.</b>	<b>96</b>	<b>102</b>	<b>109.2</b>	<b>95</b>	<b>96.9</b>	<b>75</b>	<b>123</b>	<b>103.4</b>	<b>72.5</b>	<b>88.4</b>	<b>102.6</b>	<b>182.7</b>	<b>182.7</b>
<b>MED.</b>	<b>67.38</b>	<b>67.01</b>	<b>61.84</b>	<b>58.04</b>	<b>46.9</b>	<b>42.03</b>	<b>38.78</b>	<b>40.82</b>	<b>40.94</b>	<b>56.64</b>	<b>62.87</b>	<b>83.92</b>	<b>83.92</b>
<b>MIN.</b>	<b>39.5</b>	<b>37</b>	<b>17.5</b>	<b>19</b>	<b>12</b>	<b>12.5</b>	<b>14</b>	<b>10.5</b>	<b>12</b>	<b>15.5</b>	<b>30</b>	<b>39.6</b>	<b>39.6</b>
<b>D.EST</b>	<b>14.27</b>	<b>18.25</b>	<b>19.41</b>	<b>19.4</b>	<b>19.29</b>	<b>18.61</b>	<b>22.83</b>	<b>24.28</b>	<b>14.61</b>	<b>17.99</b>	<b>21.19</b>	<b>32.99</b>	<b>32.99</b>

Fuente: SENAMHI

- Estación Tocache: Precipitación máxima 24 horas

ESTACIÓN TOCACHE PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS													
PERIODO: 1998 - 2017													
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prec. Max (mm)
1998	67.8	42.5	75.6	63	85.6	31.5	39.5	38.6	60.1	31	92	64.5	92
1999	76.2	76.4	59	77.5	70	10.9	11.1	50.7	42.3	45	98.9	75	98.9
2000	39.7	78	47.5	62.2	57.5	17.2	22.4	43.5	88.9	76.3	45.7	45	88.9
2001	53.7	36.3	84.5	55	S/D	43.5	S/D	13	48	91.8	98	38	98
2002	95.9	64.4	67.4	72	26.7	22.3	41.2	51	69.4	49	58	29.5	95.9
2003	73.8	47	54	27.6	S/D	31	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	68	73.8
2004	53.2	88.4	62	48.7	12.1	24.8	60.2	38.6	30	63.9	S/D	S/D	88.4
2005	38	62.2	121.5	32.1	27	44.2	49.2	30.7	67.5	34.4	78.4	65.2	121.5
2006	36.2	57.2	45	43.9	40.7	36.6	18.8	4.2	60.2	44	105.5	110.4	110.4
2007	70	95	39	24	23.6	S/D	22.2	26.8	48.7	23.4	76.6	40	95
2008	119.6	34.5	S/D	70.3	37.8	30	57.3	30.4	60.8	53.2	75.8	70.4	119.6
2009	48.3	40.2	70.5	S/D	33.5	40.3	65.3	14.2	81.2	50	58.3	48.5	81.2
2010	98.8	46.6	86.5	46.4	41.8	29.5	31	51.2	48.5	40.1	121.1	60.6	121.1
2011	120.3	57.4	99.6	43.5	60	43	9.8	28.9	48.8	52	53.4	92.1	120.3
2012	52	37.8	75	49.8	28.8	105.7	43.6	76.4	80.1	121.7	37.4	65.5	121.7
2013	120	55.1	45.1	25.1	50.4	29.4	6.4	24	68.1	S/D	S/D	S/D	120
2014	71.2	59.1	92.7	80.6	21.9	19.1	45.1	21.8	32.8	116.9	58.5	S/D	116.9
2015	133	124.1	72	47.9	44.7	31.2	13.3	38.9	S/D	S/D	S/D	S/D	133
2016	83	74.2	S/D	36.7	86.9	15.5	68.2	7.7	71.3	70.3	52.2	S/D	86.9
2017	90.4	39.2	48.3	74.4	88.4	15.1	27	21	6.3	93.6	S/D	S/D	93.6
MAX.	133	140	121.5	117	136.1	105.7	76	110.6	88.9	140.3	121.1	154.2	154.2
MED.	70.24	69.16	62.07	54.99	50.01	33.97	35.18	36.27	52.81	62.21	68.72	67.94	70.24
MIN.	29.2	34.5	22.2	24	12.1	10.9	6.4	4.2	6.3	23.4	37.4	29.5	37.4
D.EST	26.86	26.63	21.84	18.57	26.66	17.74	19.41	22.82	19.42	31.66	22.71	26.94	31.66

Fuente: SENAMHI

Anexo 2.

*Resumen de los parámetros calculados de la cuenca del Río Pacota*

<b>PARAMETRO DE CUENCA</b>	<b>SIMBOLOGÍA</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>VALOR</b>
AREA DE LA CUENCA	A	Km <sup>2</sup> .	27.403
PERIMETRO DE LA CUENCA	P	Km.	20.657
LONGITUD DE CUENCA	L	Km.	5.577
ANCHO MEDIO DE LA CUENCA	W	Km.	4.914
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	L <sub>c</sub>	Km.	4.020
INDICE O FACTOR DE FORMA	Fr	----	0.881
INDICE DE COMPACIDAD O GRAVELIUS	K	----	1.105
RELACIÓN DE ELONGACIÓN	R <sub>e</sub>	-----	1.059
RELACIÓN DE CIRCULIDAD	R <sub>c</sub>	-----	0.807
COTA MAS ALTA DE LA CUENCA	H <sub>s</sub>	msnm	1850.00
COTA MAS BAJA DE LA CUENCA Y/O CAUCE	H <sub>i</sub>	msnm	900.00
COTA MÁS ALTA DEL CAUCE PRINCIPAL	H <sub>r</sub>	msnm	1200.00
ALTITUD MEDIA DE LA CUENCA	H <sub>m</sub>	msnm	1375.00
ALTITUD DE FRECUENCIA MEDIA	H <sub>fm</sub>	msnm	1415.77
ALTITUD MAS FRECUENTE	H <sub>f</sub>	msnm	1652.08
LADO MAYOR DEL RECTANGULO EQUIVALENTE	L	Km	5.093
LADO MENOR DEL RECTANGULO EQUIVALENTE	I	Km	5.235
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA	S <sub>c</sub>	%	17.036
PENDIENTE MEDIA PONDERADA DE LA CUENCA	S <sub>cp</sub>	%	20.459
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL	S <sub>r</sub>	%	7.463
ORDEN DE LA CUENCA	O <sub>r</sub>	-----	1.000
DENSIDAD DE DRENAJE	D <sub>d</sub>	Cauces/Km <sup>2</sup>	0.147
DENSIDAD DE CORRIENTE	D <sub>c</sub>	Km/Km <sup>2</sup>	0.036
CONSTANTE DE ESTABILIDAD DEL RÍO	C	Km <sup>2</sup> /Km	6.817

Fuente: Equipo Técnico de Hidrología, Hidráulica y Drenaje

Anexo 3.

*Escorrentía medio mensual – Captación Rio Pacota (Caudal Bruto)*

MES	PRECIPITACION (mm)		CONTRIBUCION A LA RETENCION				DESCARGAS	
	Total	Efectiva	$b_0$	$G_1$	$a_1$	$A_1$	Cmi	Q (m3/s)
ENERO	839.2	616.2	0	0	20	0.00	616.181	6.30421
FEBRERO	788.1	578.7	0	0	10	0.00	578.66	6.55463
MARZO	863.5	634.0	0	0	10	0.00	634.00	6.48648
ABRIL	602.4	442.3	0.4631	0.0037	0	0.00	442.32	4.67625
MAYO	456.7	335.3	0.2145	0.0017	0	0.00	335.32	3.43068
JUNIO	294.2	216.0	0.0993	0.0008	0	0.00	216.04	2.05560
JULIO	287.97	211.43	0.05	0.00	0.00	0.00	211.43	1.94685
AGOSTO	284.1	208.6	0.0213	0.0002	0	0.00	208.57	1.92050
SETIEMBRE	355.0	260.7	0.0099	0.0001	0	0.00	260.66	2.48021
OCTUBRE	608.6	446.8	0.0046	0.0000	5	0.00	446.83	4.57159
NOVIEMBRE	901.6	662.0	0	0.0000	10	0.00	661.99	6.99870
DICIEMBRE	590.0	433.2	0	0.0000	20	0.00	433.18	5.31829
TOTAL	6871.5	5045.2	0.86	0.01		0.01	5045.2	52.7440

Fuente: Estudio Hidrológico creación de una Central Hidroeléctrica Pacota

Anexo 4

*Beneficios Incrementales a precios privados*

RUBRO	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
A. SITUACION CON PROYECTO											
Venta de Energia Domesticos		385090.87	386065.53	387042.66	388022.27	389004.35	389988.92	390975.98	391965.54	392957.61	393952.19
Venta de Energia Us o General		9656.96	9681.4	9705.91	9730.47	9755.1	9779.79	9804.54	9829.36	9854.24	9879.18
Venta de Energia Alumbrado Publico		9668.51	9692.98	9717.513	9742.108	9766.7654	9791.4851	9816.267	9841.112	9866.02	9890.9911
Cargo Fijo		5198.8	5211.96	5225.15	5238.38	5251.64	5264.93	5278.26	5291.61	5305.01	5318.43
Venta de Energia		278448.19	279152.95	279859.48	280567.81	281277.92	281989.84	282703.55	283419.08	284136.41	284855.56
Beneficios con Proyecto		688063.34	689804.83	691550.72	693301.04	695055.78	696814.97	698578.61	700346.71	702119.29	703896.35
B. SITUACION SIN PROYECTO											
Beneficios sin Proyecto											
<b>BENEFICIOS INCREMENTALES</b>		688063.34	689804.83	691550.72	693301.04	695055.78	696814.97	698578.61	700346.71	702119.29	703896.35

RUBRO	AÑOS									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
A. SITUACION CON PROYECTO										
Venta de Energia Domesticos	394949.3	395948.9	396951.04	397955.72	398962.95	399972.73	400985.06	401999.95	403017.41	404037.45
Venta de Energia Us o General	9904.18	9929.25	9954.38	9979.58	10004.83	10030.16	10055.54	10080.99	10106.51	10132.09
Venta de Energia Alumbrado Publico	9916.025	9941.123	9966.2836	9991.508	10016.797	10042.15	10067.566	10093.05	10118.59	10144.2
Cargo Fijo	5331.9	5345.39	5358.92	5372.48	5386.08	5399.71	5413.38	5427.08	5440.82	5454.59
Venta de Energia	285576.5	286299.32	287023.95	287750.41	288478.7	289208.84	289940.83	290674.67	291410.37	292147.93
Beneficios con Proyecto	705677.9	707463.98	709254.57	711049.7	712849.36	714653.59	716462.37	718275.74	720093.7	721916.25
B. SITUACION SIN PROYECTO										
Beneficios sin Proyecto										
<b>BENEFICIOS INCREMENTALES</b>	705677.9	707463.98	709254.57	711049.7	712849.36	714653.59	716462.37	718275.74	720093.7	721916.25

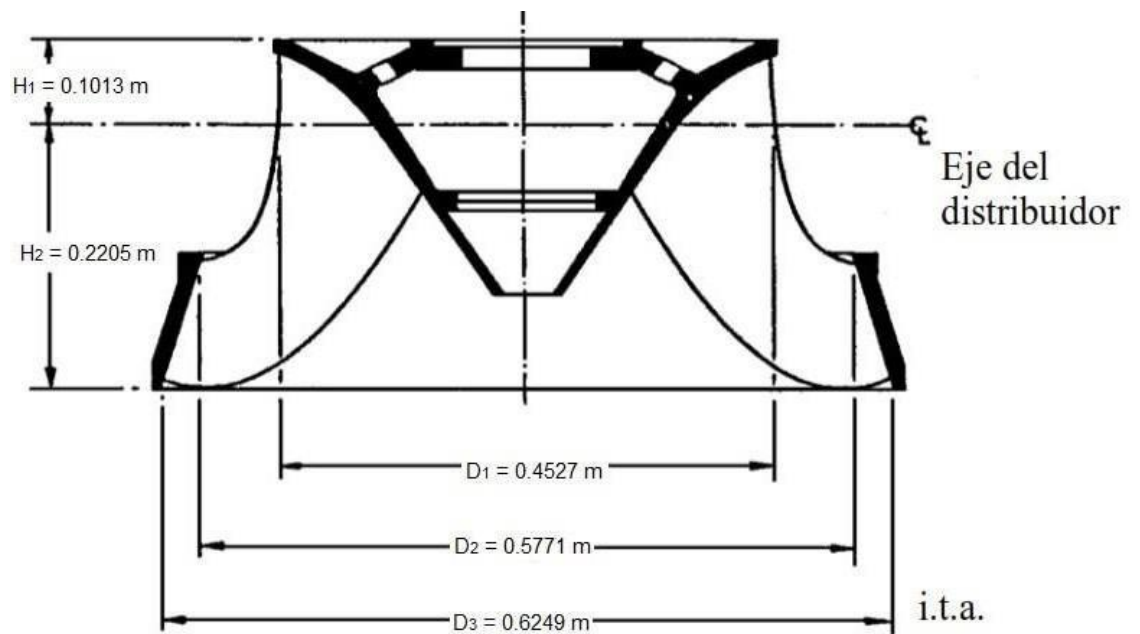
Fuente: Proyecto de Inversión pública de una presa en el Río Pacota



Anexo 6: Caracterización de los parámetros geométricos del diseño de la turbina

Francis de 700 kW

- Rodete de la turbina Francis



Fuente: Elaboración propia.



