



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

TESIS

**DISEÑO DE UNA TURBINA HIDROKINÉTICA
SUMERGIBLE PARA LA GENERACIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CASERÍO PAMPA
BERNILLA, DISTRITO DE SALAS, PROVINCIA
LAMBAYEQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

Autor:

Bach. Ventura Falla Deivis Kelvin

Asesor:

Mg. Díaz Rubio Deciderio Enrique

Línea de Investigación:

**Generación de Energía Renovable – Energía
Hidroeléctrica.**

Pimentel - Perú

2018

**DISEÑO DE UNA TURBINA HIDROCINÉTICA SUMERGIBLE PARA
LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CASERÍO
PAMPA BERNILLA, DISTRITO DE SALAS, PROVINCIA
LAMBAYEQUE.**

Aprobación de la tesis

MSc. Guerrero Millones Ana María
Asesor metodólogo

Mg. Díaz Rubio Deciderio Enrique
Asesor especialista

MSc. Rojas Coronel Ángel Marcelo
Presidente del jurado de tesis

MSc. Villalobos Cabrera Jony
Secretario del jurado de tesis

Mg. Díaz Rubio Deciderio Enrique
Vocal del jurado de tesis

DEDICATORIA

A DIOS: porque es la luz y guía de mi existir, porque siempre está a mi lado y ha hecho posible mis logros anhelados.

A MIS PADRES: que me han dado la existencia, por su apoyo económico, la capacidad de superarme y desear lo mejor en cada paso por este camino difícil de la vida; gracias por ser como son porque su presencia y persona han ayudado a construir y forjar la persona que ahora soy.

A MIS HERMANOS: por brindarme su apoyo incondicional.

A MIS MAESTROS Y AMIGOS: que en el andar por la vida nos hemos ido encontrando; porque cada uno de ustedes ha motivado mis sueños y esperanzas en consolidar un mundo más humano y con justicia; gracias a todos los que han recorrido conmigo este camino, porque me han enseñado a ser mejor persona.

A MI NOVIA: por brindarme su apoyo incondicional y animarme a seguir adelante para lograr cumplir con mis anhelos y metas trazadas.

AGRADECIMIENTO

A la Msc. Guerrero Millones Ana María por su apoyo en guiarme a desarrollar y estructurar mi informe de investigación.

Al Ing. Díaz Rubio Deciderio Enrique por su apoyo en la asesoría a tiempo y fuera de tiempo para el desarrollo de mi informe de investigación.

A la Universidad Privada Señor de Sipán – Escuela Académica de Ingeniería Mecánica Eléctrica por ser mi alma mater y brindarme las facilidades en el uso de su biblioteca para realizar recopilación de la información.

A mi familia por su ayuda económica y comprensión en mis horas de estudio para desarrollarme profesionalmente.

A mis profesores y amigos de quienes siempre recibí lo mejor.

A mi novia porque con su sonrisa resplandeciente hacía que mis momentos sean felices, por brindarme sus consejos y por ser una de las personas importante en mi vida.

INDICE

RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN	15
1.1.Situación Problemática	15
1.1.1.Nivel Internacional.	15
1.1.2.Nivel Nacional.....	17
1.1.3.Nivel Local.....	18
1.2.Formulación del Problema	20
1.3.Objetivos.....	20
1.3.1.Objetivo General.	20
1.3.2.Objetivos Específicos.	20
1.4.Justificación	20
1.4.1.Justificación Económica.....	21
1.4.2.Justificación Ambiental.....	21
1.4.3.Justificación Social.....	21
1.4.4.Justificación Técnica.....	21
1.5.Antecedentes de Investigación:.....	21
1.5.1.Nivel Internacional.	21
1.5.2.Nivel Nacional.....	22
1.5.3.A Nivel Local.	23
1.6.Marco Teórico	23
1.6.1.Estado del Arte.	23
1.6.2.Base Teórica Científicas.....	28
1.7.Definición de la Terminología	63
II.MATERIALES Y METODOS.....	67
2.1.Tipo y Diseño de investigación	67
2.2.Métodos de investigación	67
2.3.Población y muestra:.....	67
2.3.1.Población:	67
2.3.2.Muestra	67
2.4.Hipótesis	68
2.5.Variables.....	68
2.6.Operacionalización:	69
2.7.Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	70
2.7.1.Métodos de recolección de datos.....	70
2.7.2.Técnicas de recolección de datos.....	70
2.7.3.Instrumentos de recolección de datos.....	71
2.8.Procedimiento para la recolección de datos	72
2.8.1.Diagrama de procesos.....	72
2.8.2.Descripción de Procesos	73
III.RESULTADOS	77
3.1.Cálculo de la máxima demanda eléctrica.....	77
3.1.1.Identificación del sector típico	77
3.1.2.Cálculo de la calificación eléctrica.....	78
3.1.3.Cálculo de la máxima demanda.	80
3.1.4.Cálculo Máxima Demanda Total.....	83

3.1.5. Proyección de máxima demanda	83
3.2. Potencial hidráulico.	85
3.3. Cálculos de turbina hidrocínética.....	86
3.3.1. Área proyectada de la turbina.	86
3.3.2. Velocidad de giro del rotor.....	89
3.3.3. Número de Reynolds.....	89
3.3.4. Fineza del perfil.....	90
3.3.5. Parámetros de forma de álabe	91
3.3.6. Ángulo de la velocidad relativa (Φ).....	92
3.3.7. Factor de velocidad angular.....	93
3.3.8. Factor de pérdida en la punta	93
3.3.9. Potencia captada	94
3.3.10. Velocidad Relativa.	95
3.3.11. Par de giro del rotor.	95
3.3.12. Elección de perfil.....	96
3.3.13. Diseño de álabes.	97
3.3.14. Diseño de eje.....	98
IV. DISCUSIÓN.....	105
4.1. Propuesta de investigación	105
4.1.1. Ubicación de la microcentral	105
4.1.2. Topología de la instalación.....	106
4.2. Estudio de rentabilidad	108
4.2.1. Presupuesto.....	108
4.2.2. Balance económico.	110
4.2.3. VAN [valor actual neto].....	113
4.2.4. TIR [tasa interna de retorno].....	114
4.3. Mantenimiento.....	114
4.3.1. Mantenimiento Preventivo.	114
4.3.2. Mantenimiento Correctivo.....	115
4.3.3. Mantenimiento a Cargo del Servicio Mecánico.....	115
V. Conclusiones.	118
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	120
ANEXOS.....	122

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: velocidad u de arrastre.	37
Ecuación 2: Velocidad u de arrastre.	37
Ecuación 3: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.....	37
Ecuación 4: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.....	37
Ecuación 5: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.....	37
Ecuación 6: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.....	37
Ecuación 7: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.....	37
Ecuación 8: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.....	37
Ecuación 9: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.....	38
Ecuación 10: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.....	38
Ecuación 11: Trabajo específico de Euler.....	38
Ecuación 12: Grado de Reacción.....	38
Ecuación 13: Grado de Reacción.....	38
Ecuación 14: Potencia Suministrada.....	41
Ecuación 15: Masa de cantidad de agua.	41
Ecuación 16: Volumen del cilindro	42
Ecuación 17: Distancia.....	42
Ecuación 18: Energía Cinética.	42
Ecuación 19: Energía Cinética	42
Ecuación 20: Potencia teórica	43
Ecuación 21: Área Transversal.....	45
Ecuación 22: Potencia disponible	45
Ecuación 23: Potencia del generador.....	46
Ecuación 24: Potencia del generador.....	46
Ecuación 25: Diámetro.....	46
Ecuación 26: Radio	46
Ecuación 27: Área del rotor de eje inclinado.....	47
Ecuación 28: Potencia disponible del rotor eje inclinado	47
Ecuación 29: potencia del generador eje inclinado	47
Ecuación 30: Diámetro eje inclinado	48
Ecuación 31: Radio eje inclinado	48
Ecuación 32: Factor de potencia.....	52

Ecuación 33: Valor actual neto.....	60
Ecuación 34: Tasa interna de retorno.....	61
Ecuación 35: Tasa interna de retorno.....	62
Ecuación 36: Factor de simultaneidad	80
Ecuación 37: Máxima demanda particular.....	80
Ecuación 38: Máxima demanda cargas especiales.	81
Ecuación 39: Factor KALP.	81
Ecuación 40: Factor CMAP.	81
Ecuación 41: Puntos de iluminación.....	82
Ecuación 42: Máxima demanda alumbrado público.....	82
Ecuación 43: Máxima demanda total.....	83
Ecuación 44: Proyección de máxima demanda.	84
Ecuación 45: Área proyectada.....	87
Ecuación 46: Pérdidas total	87
Ecuación 47: Diámetro.....	88
Ecuación 48: Velocidad de giro.....	89
Ecuación 49: Número de Reynolds.	89
Ecuación 50: Ángulo de la velocidad relativa.....	92
Ecuación 51: Factor de velocidad angular	93
Ecuación 52: Factor de pérdida	93
Ecuación 53: Potencia captada	94
Ecuación 54: Potencia captada	95
Ecuación 55: Par de giro del rotor.	95
Ecuación 56: Ancho del ala.....	98
Ecuación 57: Radio de la circunferencia.....	98
Ecuación 58: Resistencia por fatiga modificada.....	101
Ecuación 59: Par torsor del eje.....	101
Ecuación 60: Fuerza del Agua.....	101
Ecuación 61: Potencia del Agua.....	102
Ecuación 62: Momento Flector Máximo.	102
Ecuación 63: Diámetro del eje.....	103
Ecuación 64: Cálculo del Valor actual neto.	113
Ecuación 65: Cálculo de la Tasa interna de retorno.	114

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista satelital del caserío Pampa Bernilla.	19
Figura 2: Anclaje Rígido.....	23
Figura 3: Anclaje flotante.	24
Figura 4: Anclaje flotante.....	24
Figura 5: Eje inclinado.....	24
Figura 6: Tipos de turbinas hidrocínicas de flujo cruzado.....	25
Figura 7: Impresión en 3D.	27
Figura 8: Turbinas de ruedas hidráulicas.	29
Figura 9: Turbina de acción.	31
Figura 10: Turbina sobrepresión.....	32
Figura 11: Turbina axiales.	32
Figura 12: Turbina radial.	33
Figura 13: Turbina Tangencial.	33
Figura 14: Turbina Garman.....	34
Figura 15: Turbina Aquacharger.	35
Figura 16: Esquema Turbina Axial.	35
Figura 17: La Ley de Cantidad de Movimiento para el modelo Matemático.....	36
Figura 18: Triangulo de Velocidades.....	39
Figura 19: Perfil de palas.	39
Figura 20: Distribución de fuerzas sobre una hélice.	40
Figura 21: Área de Barrido.	41
Figura 22: Proceso de transformación de energía.	44
Figura 23: Rotor de Eje horizontal.	45
Figura 24: Rotor de eje inclinado.	47
Figura 25: Rotor de eje inclinado.	48
Figura 26: El eje de transmisión.....	50
Figura 27: Rotor eje vertical.	54
Figura 28: Rotor horizontal.	55
Figura 29: Rotor de eje inclinado.	55
Figura 30: Grafica VAN y TIR.....	62
Figura 31: Sistema de distribución eléctrica.	74

Figura 32: Perfil de un rotor.....	86
Figura 33: Fineza para diferentes ángulos de ataque y N° Reynolds.	90
Figura 34: Perfil de álabe.	92
Figura 35: Perfil de álabe.	95
Figura 36: Perfiles para números de Reynolds bajos.	97
Figura 37: Gradiente de presión adverso y favorable.	97
Figura 38: Resistencia a la fatiga S_n en función de la resistencia de tensión para acero forjado con varias condiciones de superficie.....	99
Figura 39: Factor por tamaño.	100
Figura 40: diagrama de momento flector.....	102
Figura 41: Ubicación de la turbina hidrocínética.	105
Figura 42: Ubicación topográfica de la turbina hidrocínética.	106
Figura 43: Sistema de generación a través de una turbina hidrocínética.	107
Figura 44: Sistema de distribución	107

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Celeridad y N° de alabes.....	49
Tabla 2: Valores Turbina vertical Darrieus.....	54
Tabla 3: Valores Turbina Horizontal Darrieus.....	55
Tabla 4: Rotor de eje inclinado	56
Tabla 5: Mantenimiento- horas de servicio.....	59
Tabla 6: Valor Actual Neto.	61
Tabla 7: Calificación de sectores de distribución típica.	77
Tabla 8: Calificación eléctrica para zonas rurales.....	78
Tabla 9: Potencia de lámparas de vapor de sodio.....	82
Tabla 10: Tasa de crecimiento energético.....	83
Tabla 11: Proyección de demanda 2016 - 2037.	84
Tabla 12: Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional	85
Tabla 13: Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional	86
Tabla 14: Velocidad específica en función de las palas.....	89
Tabla 15: Fineza para diferentes ángulos de ataque y N° Reynolds.....	91
Tabla 16: Parámetros iniciales.....	91
Tabla 17: Evaluación de Gmax para distintos a.	94
Tabla 18: Presupuesto de equipos microcentral hidroeléctrica (turbina hidrocínética).....	108
Tabla 19: Pliego Tarifario 04-04-2016 (osinergmin zonas Motupe, Salas y Illimo).....	110
Tabla 20: Ingresos por generación de energía eléctrica por año.	111
Tabla 21: Flujo de caja de la microcentral proyectado a 20 años.....	112

RESUMEN

El presente informe de tesis tiene como finalidad realizar el diseño de una Turbina hidrocínética sumergible para la generación de energía eléctrica para el Caserío Pampa Bernilla, Distrito de Salas en la región Lambayeque.

Se diseñó una turbina la cual permite aprovechar óptimamente la energía cinética del río del Caserío, en la cual se estableció procedimientos para la elección de los álabes, su respectivo sistema de control, supervisión de las variables del proceso y su diagrama de instrumentación. Las cuales se diseñaron haciendo uso del Software SolidWorks, AutoCAD y RedCAD.

Se realizó el diseño del sistema de generación eléctrica, capaz de abastecer la demanda actual y la demanda proyectada a 20 años (6.27KW), siendo factible la capacidad de generación eléctrica, con un periodo de recuperación de la inversión de 7 años.

Palabras clave: Turbina, generador, potencia máxima, álabe, diseño.

ABSTRACT

The present report of the thesis aims to make the design of a turbine hidrocínética submersible electric power generation for the hamlet Pampa Bernilla, District of Chambers in the Lambayeque Region.

It was designed a turbine which allows make optimum use of the kinetic energy of a river of the Hamlet, which established procedures for the election of the vanes, their respective system of control and supervision of the process variables and their instrumentation diagram. Which were designed by making use of SolidWorks software, AutoCAD and RedCAD.

Was the design of the electric power generation system, capable of supplying the current demand and projected demand to 20 years (6.27Kw), being feasible the power generation capacity, with a period of recovery of the investment of 7 years.

Key words: turbine, generator, maximum power, vane, design.

INTRODUCCIÓN.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Situación Problemática

En zonas rurales donde vive la mayor parte de la población típico en los países en vías de desarrollo, la densidad poblacional es muy baja y el consumo de energía está confinada a pequeñas escalas. Así, la provisión de la misma desde los distantes centros de generación, no resulta factible económicamente. Como consecuencia de esta desfavorable situación y desde el punto de vista del abastecimiento de energía eléctrica en áreas rurales, un gran porcentaje de la población no se beneficia con las ventajas que ésta brinda. La fuente de energía básica del área rural sigue siendo la leña como un consumo importante, usada principalmente en requerimientos de calor, tales como cocción y calefacción, originando impactos negativos contra el medio ambiente. En lo que se refiere a iluminación, utilizan: velas, mecheros, que aparte de tener una intensidad luminosa deficiente, a la larga producen daños a la salud, especialmente en la vista y los pulmones. Así, la idea de utilizar la fuerza de la corriente de los ríos no es nueva, existen muchas propuestas de diseño de turbinas para aprovechar este recurso a pequeña y gran escala. La experiencia más destacable conocida por su largo esfuerzo de desarrollo ha sido el caso de la Turbina Garman diseñado por el Británico Peter Garman. Las Turbinas de Río (o de Garman), no son más que turbinas eólicas que funcionan dentro del agua, por lo que en el diseño de las aspas se utilizan todos los principios de una turbina eólica y en lo único que se diferencia de estos es en el fluido de trabajo.

1.1.1. Nivel Internacional.

ARGENTINA

En el tramo Luján de Cuyo del canal San Martín se puso en funcionamiento una mini turbina hidrocínética que extrae energía eléctrica del Río Mendoza. Es un proyecto de la UNCuyo (Universidad Nacional Cuyo de la República de Argentina) e INVAP que prevé diseños de equipos comerciales para abastecer con este tipo de energía la red eléctrica cercana a los cauces de riego. Universidad Nacional del Cuyo, (2012).

CHILE

Troncoso P, Claudio (2013)

La similitud entre el recurso energético hidrocínético y eólico, en los cuales los dispositivos de captación de energía trabajan bajo los mismos fundamentos físicos, permite aplicar los avances de la tecnología eólica al diseño de dispositivos hidrocínéticos adaptando tecnología e ideando mejoras, dadas las características particulares del recurso hidrocínético, mayor densidad del fluido y menor velocidad de flujo, los cuales se deben realizar sin descuidar las nuevas exigencias provocadas como mayores esfuerzos estructurales y fenómenos de cavitación al estar el rotor sumergido en el agua. Los avances de la tecnología eólica utilizados en el desarrollo de esta tesis son la aplicación de programas para el análisis de rotores y el set de perfiles de sustentación desarrollados por el NREL. Evaluar y comparar el comportamiento fluido-dinámico y estructural de un rotor hidrocínético de eje horizontal utilizando perfiles de sustentación NACA y NREL.

Carmona P, Rafael (2004)

Estudio del comportamiento hidráulico de turbinas cinéticas de flujo axial en canales a superficie libre, como una alternativa de generación de energía hidroeléctrica en obras y estructuras existentes.

RH van Els, C de Oliveira, AM Días, LF Balduino (2003)

El uso de la energía cinética de los ríos puede ser considerado una de las principales formas inventadas por el hombre para transformar las fuerzas naturales en trabajo mecánico. El flujo de los ríos se empleó siempre en la navegación y la rueda hidráulica es uno de los mecanismos más sofisticados de los tiempos antiguos. Actualmente es común encontrar bombas de agua sumergidas, accionadas con el empleo de la rueda hidráulica.

M Arroyo Ulloa, L Huamán Romero – 2013

En la cumbre de Río +20 se acordó que el transporte y la movilidad son elementos centrales en la búsqueda del desarrollo sostenible. Este desarrollo sostenible tiene muchas aristas y un amplio espectro de alternativas y estrategias, pero es necesario

identificar alternativas tecnológicas factibles, que generen ventajas ambientales y equidad social, que permitan integrar comunidades remotas hacia otras comunidades o ciudades más prósperas de la región, hacia puertos que faciliten la comercialización de productos o el transporte de turistas. En nuestro país hay una urgente necesidad de integrar comunidades ribereñas a los servicios sociales, a las oportunidades comerciales y el desarrollo. Los actuales niveles de desarrollo están muy por debajo de cualquier expectativa y los principios e investigaciones de la ingeniería naval tienen un rol fundamental en el uso del conocimiento para adaptarlo a las necesidades reales de las comunidades. El presente artículo propone alternativas y estrategias que ayudan al desarrollo sostenible de las comunidades ribereñas y complementen otros proyectos gubernamentales.

1.1.2. Nivel Nacional.

En Perú no se implementan proyectos de este tipo de energía, solamente se han realizado estudios y las posibles realidades de ver la forma de generar energía con recursos renovables como las solares, eólicas descuidando este tipo de aprovechamiento del caudal de los ríos, los estudios realizados son:

Peña G, Víctor (2013)

Diseño de una turbina hidrocínética para aprovechamiento energético de ríos no caudalosos. Tesis de pregrado no publicado en Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Programa Académico de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Piura, Perú.

Atilano, Álvaro Mercado, Jesús Casanova, Helen (2013)

El propósito del presente documento es presentar datos empíricos del estatus de la innovación tecnológica en el sector energético en la región, a través de uno de los indicadores de innovación tecnológica definidos por CAF. Las tecnologías del sector energético consideradas en el documento son: tecnologías de generación de energía de fuente renovables y no fósiles; tecnologías de combustión con potencial de mitigación; y tecnologías de eficiencia energética residencial y de alumbrado.

Los datos han sido tomados de la Ilibrary de la OCDE, la cual es una base de datos que reúne estadísticas de las principales oficinas de propiedad intelectual en el mundo.

Rivadeneira Moya, Diego Mauricio (2015)

Modelación y simulación de la operación de generadores que emplean turbinas hidrocínéticas en ríos de bajo caudal. En el presente proyecto de tesis se brinda una herramienta computacional que funciona bajo los parámetros de los modelos matemáticos implementados para el análisis de las turbinas hidrocínéticas, permitiendo buscar una optimización en cuanto al análisis de la operación de generación de electricidad al momento de emplear turbinas hidrocínéticas a un río de bajo caudal, brindando la energía disponible al SNI. Mediante la aplicación del programa computacional se intenta resolver de manera rápida y confiable el análisis de la potencia eléctrica que puede generar un río de bajo caudal, con el fin de abastecer de energía eléctrica utilizando una o varias turbinas hidrocínéticas a una población aislada o a su vez interconectar a la red. Para ello es necesario conocer datos propios de la turbina como especificaciones técnicas y también datos propios del río como velocidad, caudal, área, profundidad, etc.

1.1.3. Nivel Local.

A nivel local no se encuentran registros e investigaciones de este tipo de proyectos de energía hidrocínética, dado a que les dan mayor importancia a otros tipos de energía, descuidando el potencial de caudal de los ríos por motivo de sus variaciones de caudal durante el año. Con este proyecto se quiere electrificar y ayudar a los usuarios de este caserío a mejorar su vida, dándoles la oportunidad de crecer económicamente ya que podrán usar la energía eléctrica. La ubicación geográfica donde se realizará dicho proyecto se encuentra ubicado en el Departamento de Lambayeque; Provincia Lambayeque; Distrito Salas; las vías de acceso para llegar al Caserío Pampa Bernilla, existen diferentes rutas, pero la más accesible es la carretera que se comunica con Motupe, para llegar al Caserío con un tiempo aproximado de llegada de 1 hora con 10 minutos en carro, en moto lineal 40 minutos, en mototaxi 1 hora con 25 minutos y 4 horas caminando, en cuanto al

número de familia son 15, más un local comunal, en los servicios de comunicación cada familia cuenta con un celular ya sea de la línea Movistar o Claro, las principales actividades de la zona son la agricultura tales como el maíz, papa, palta, yuca y la ganadería, está localidad cuenta con un Sistema de Abastecimiento de Agua potable el mismo que se encuentra en ejecución. La localidad cuenta con desagüe mediante el sistema de letrización y no es electrificada porque el caserío está lejos del punto de suministro y porque no cubre con la demanda para ser electrificada.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

- Este : 652262.73 m
- Norte : 93.28053.08 m
- Altura : 303 m.s.n.m



Figura 1. Vista satelital del caserío Pampa Bernilla.

Fuente: //www.google.com.pe/maps/@-6.0775433,-79.6239047,334m/data=!3m1e3?hl=es.

Límites:

Norte: Palo Blanco, Cardal.

Sur: Marripón, Pueblo Escondido.

Este: Salas, Chochope, Rinconada.

Oeste: Yocape, Choloque

1.2. Formulación del Problema

¿Cómo generar energía eléctrica a través de una turbina hidrocínética para abastecer de energía al caserío Pampa Bernilla?

Objeto De Estudio

La generación de Energía Eléctrica.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General.

Diseñar una turbina hidrocínética sumergible para la generación de energía eléctrica en el caserío Pampa Bernilla, considerando la normatividad vigente.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- a) Calcular la máxima demanda de energía en el caserío Pampa Bernilla.
- b) Medir y calcular los parámetros del Potencial Hidráulico.
- c) Diseñar la turbina hidrocínética mediante el software SOLIDWORKS.
- d) Establecer las medidas y optimización del diseño a través del Software CAD CAE.
- e) Diseñar el Sistema de distribución Eléctrica.
- f) Realizar los planos correspondientes al diseño de la turbina hidrocínética.
- g) Realizar la evaluación económica VAN y TIR del diseño, así como también el presupuesto.
- h) Realizar un plan de mantenimiento.

1.4. Justificación

Hoy en día la energía eléctrica se ha vuelto parte fundamental de la vida, la cual impulsa mucho al desarrollo de una comunidad, pero existen diferentes lugares a las cuales no se puede llevar mediante las redes eléctricas, por motivos económicos

o geográficos y para solucionar este problema se ha optado por el uso de los recursos energéticos que nos rodean.

1.4.1. Justificación Económica.

El estudio del diseño de una turbina hidrocínética sumergible, se centra en la utilización de la energía cinética de los ríos como fuente de energía útil, lo cual resulta una alternativa económicamente viable ya que es renovable y gratuita.

1.4.2. Justificación Ambiental.

Con este tipo de tecnología mejorará eficientemente el uso de energías convencionales, la cual condiciona al poblador en dejar el uso de velas, lámparas, motobombas las cuales son emisores de CO₂.

1.4.3. Justificación Social.

El diseño de una turbina hidrocínética sumergible para generar energía eléctrica, es de suma importancia para mejorar la calidad de la vida de los pobladores del caserío Pampa Bernilla, porque se les proporcionará energía eléctrica para el alumbrado domiciliario y labores domésticas.

1.4.4. Justificación Técnica.

Este tipo de tecnología se ve justificado por la necesidad de desarrollar nuevas formas de generación de energía limpia, este diseño es ideal para zonas aisladas y sin red eléctrica, ya bien sea, por encontrarse en lugares poco accesibles o en sectores rurales en desarrollo que todavía no disponen de energía eléctrica.

1.5. Antecedentes de Investigación:

1.5.1. Nivel Internacional.

ARGENTINA

Universidad Nacional de San Juan (2003)

La investigación se centró en el estudio de micro turbinas sumergibles con rotor de eje vertical. Los resultados de los ensayos hidráulicos de modelo de un canal vibrado inclinable concluyeron que este tipo de turbinas es lento, su introducción el

flujo de un canal puede producir un resalto hidráulico aguas abajo y una curva de remanso aguas arriba cuyas dimensiones dependen del flujo, de las dimensiones del canal y el tamaño del rotor sumergido.

Universidad de UNCuyo (2014)

La UNCuyo e INVAP planificaron y desarrollaron una mini turbina hidrocínética para obtener energía eléctrica de las turbulentas aguas del Río Mendoza, en el Canal San Martín a la altura de Luján de Cuyo. La experiencia se concretó en abril del año pasado en el tramo Luján de Cuyo, calle Cipolletti C, ingreso por la planta potabilizadora de agua Cipolletti de la Municipalidad de Luján de Cuyo. Con esta iniciativa la secretaría de Desarrollo Institucional de la UNCuyo e INVAP buscan profundizar el conocimiento del funcionamiento de esta tecnología para introducir energía renovable en el sistema eléctrico local. La turbina hidrocínética debe su nombre a que capta la energía cinética o energía de la velocidad de una corriente en este caso de agua.

1.5.2. Nivel Nacional.

PERÚ

ITDG, soluciones prácticas (2004)

Ha desarrollado y probado un modelo de turbina del tipo Kaplan de álabes fijos, rodete semi Kaplan, para capacidades entre los 10 kW y 50 kW de potencia con la finalidad de aprovechar el potencial micro-hidro-energético. Dicho prototipo fue construido e instalado en el centro poblado “Las Juntas” de la provincia de Jaén (Cajamarca, Perú) y genera 27 kW. Basado en este modelo, construyeron un segundo prototipo que será instalado para uso privado en la zona de Magdalena (Cajamarca).

Sindicato Energético S.A. (Sinersa) (2004)

Es una empresa peruana que posee dos centrales hidroeléctricas: Curumuy de 12.5 MW, puesta en operación desde 1998 y ubicada a 20 km de la ciudad de Piura; y

Poechos 1 de 15.4 MW, operativa desde el 2004 y ubicada al pie de la represa de Poechos en el departamento de Sullana, a 60 km de la ciudad de Piura ambas centrales poseen turbinas tipo Kaplan.

1.5.3. A Nivel Local.

Según investigación realizada con la ayuda de información virtual, registros de este tipo de proyectos de energía hidrocínética, se determinó que no existe antecedentes con respecto al tema del proyecto mencionado en el caserío Pampa Bernilla, distrito Salas y en la región Lambayeque.

1.6. Marco Teórico

1.6.1. Estado del Arte.

1.6.1.1. Clasificación de las Turbinas Hidrocínéticas (Turbina de Ríos).

Las turbinas hidrocínéticas, se clasifican en función de la posición de su eje con respecto a la corriente que las impulsa, existen dos categorías principales:

A) Flujo Axial.

En las cuales el flujo es paralelo al eje de rotación aquí se encuentran los de tipo anclaje rígido y anclaje flotante.

- **Anclaje rígido.** Anclaje al lecho como puede observarse de la figura 02.

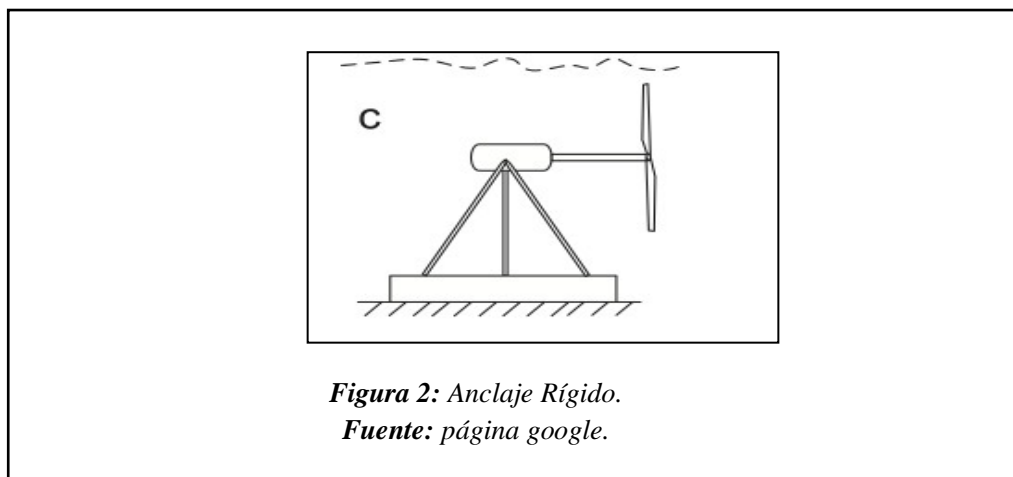


Figura 2: Anclaje Rígido.

Fuente: página google.

- **Anclaje flotante.** dentro del anclaje flotante encontramos al generador sumergido y generador no sumergido.

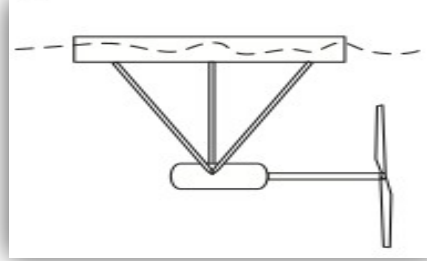


Figura 3: Anclaje flotante.
Fuente: página google.

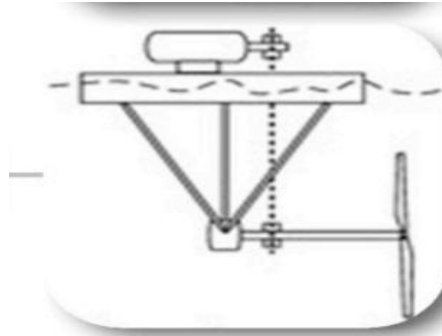


Figura 4: Anclaje flotante.
Fuente: página google.

- **Eje inclinado.** Flotante con generador sobre la superficie.

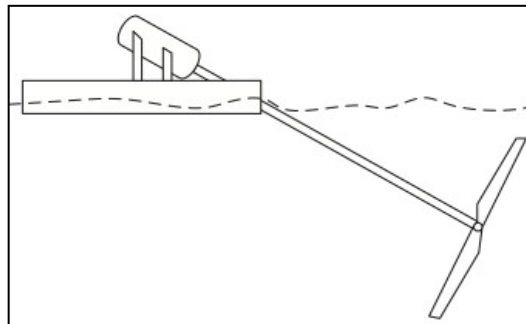
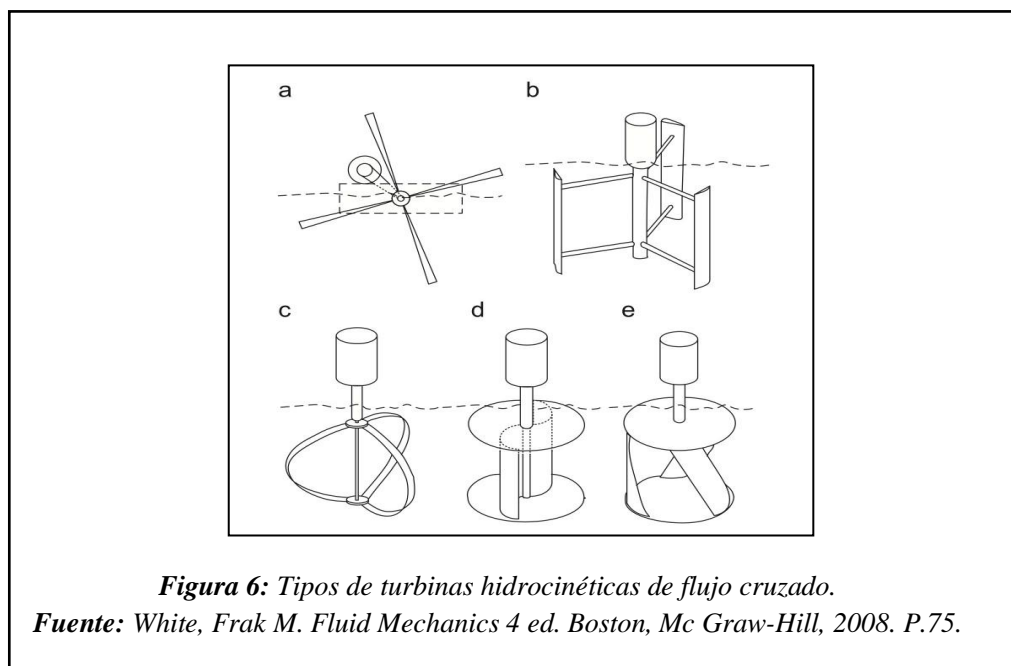


Figura 5: Eje inclinado.
Fuente: White, Frak M. Fluid Mechanics 4 ed. Boston, Mc Graw-Hill, 2008. P.752.

B) Flujo Tangencial

Estas tienen la peculiaridad de que la corriente impulsora se mueve perpendicularmente al eje de rotación. En la figura 06 puede observarse que los álabes de las turbinas de flujo cruzado (excepto a) tienen dos puntos de sujeción al eje rotacional, esto hace que los álabes requieran de menos rigidez estructural, en comparación con las turbinas de eje horizontal. Las máquinas de eje vertical están basadas en dos diseños de turbinas eólicas, la turbina Darrieus (figura 06 c) y la turbina Savonius (figura 06 d). Esta última es una turbina de fácil construcción, pero de baja eficiencia, ya que utiliza la fuerza de arrastre como su fuente motriz, lo cual limita su desempeño. Por otro lado, la turbina Darrieus se ha modificado para poder mejorar su desempeño tanto en agua como en aire, su primera modificación fue el rotor H (figura 6 b). Este tipo de máquina limita los problemas inherentes de fabricación de los álabes curvos del diseño Darrieus original, lo cual abarata sus costos. En una turbina Darrieus o Darrieus H, si uno de los álabes no se encuentra en un punto de máximo empuje, es muy probable que la turbina no arranque, para lo cual deberá de agregarse un sistema de arranque al sistema.



- (a) Turbina de superficie (rueda hidráulica); (b) H-Darrieus; (c) Darrieus; (d) Savonius y (e) Helicoidal, Gorlov.

1.6.1.2. Avances Tecnológico.

Históricamente el desarrollo de tecnologías innovadoras ha estado sujeta a las técnicas de manufactura existentes al momento que se crea un diseño específico, debido a que en la etapa de diseño no existe mucha conciencia de cómo se fabricará esa nueva idea; cuando un diseño llega a la etapa de manufactura o producción, es necesario hacer ciertas adecuaciones para que pueda ser construido, estas adaptaciones en muchos casos son debidas a causas económicas, pero en algunos casos el diseño no puede ser fabricado exactamente como fue creado por impedimentos en técnicas de manufactura. Es posible que un diseño no logre ser llevado a su nivel óptimo, debido a que las técnicas de diseño y los métodos computacionales de simulación no fueron capaces de describir a la nueva tecnología. Uno de los objetivos de este proyecto es crear un modelo de simulación para la turbina Gorlov, ya que su diseño se ha hecho a base de experimentación y recopilación de datos, lo cual ha causado que su desarrollo sea costoso. Las simulaciones tridimensionales de estos sistemas son muy complejas y requieren de una gran capacidad de cómputo, lo cual se encuentra fuera del alcance de muchas instituciones, por lo que resulta más barato construir prototipos y probarlos en base a análisis de modelos anteriores. Hoy en día el incremento de la capacidad de las computadoras personales ha hecho que simulaciones complejas de dinámica de fluidos puedan ser resueltas al cabo de unas horas, sin embargo, aún falta terreno por avanzar para poder hacer que la simulación de una turbina hidrocínética pueda ser realizada sin mayores simplificaciones al modelo. De forma tal que se pueden obtener datos fidedignos de la misma, ahorrando de esta forma la fabricación de modelos y prototipos de prueba para identificar el sistema. Existen casos en la industria donde la simulación y optimización no son problema, pero sí lo son las técnicas de manufactura y materiales disponibles. Si una tecnología de manufactura no está disponible puede ser creada a partir de otras sin mayor problema, pero la creación de materiales con características específicas es algo mucho más complejo. Un ejemplo de esto fue el desarrollo del transistor, en un inicio no existía la posibilidad de desarrollar materiales semiconductores que pudieran conmutar a la frecuencia que hoy lo hacen, esto ha ido cambiando a lo largo de más de treinta años y el desarrollo sigue aumentando. En el caso de la fabricación de turbinas hidrocínéticas el desarrollo de materiales más importante es el relacionado con las resinas y compuestos, hoy en día este tipo de máquinas se fabrican de fibra de vidrio, la cual ha ido adquiriendo a lo largo de los

años mejores propiedades de resistencia y flexibilidad, no obstante en la mayoría de los casos el ensamble de los álabes se sigue haciendo sobre algún material metálico, lo cual aumenta los costos y reduce la vida de la máquina debido a la oxidación. La fibra de carbono puede ser una buena opción en el futuro para eliminar elementos metálicos en los álabes, sin embargo, hoy en día es costosa de procesar y el consumo de energía, en el proceso de horneado en autoclave; es muy alto. La impresión en 3D también puede ser una buena opción para la fabricación de turbinas hidrocínicas, lo cual ayudaría a que la máquina este fabricada de una sola pieza, sin necesidad de ensamblar los álabes a la parte superior de la turbina, sin embargo, la impresión en 3D aún está lejos de ser competitiva en términos de costos de manufactura. Por último, un avance tecnológico importante para el desarrollo de esta tecnología tiene que ver con su uso; aunque este tipo de máquinas no proporcionan grandes cantidades de energía, es necesario que tengan la capacidad de estar conectadas a la red, con el fin de suministrar su energía cuando no está siendo utilizada. Para poder lograr esto es necesario que se desarrollen redes inteligentes de distribución donde se tengan tanto puntos de consumo como de ingreso de energía a la red.

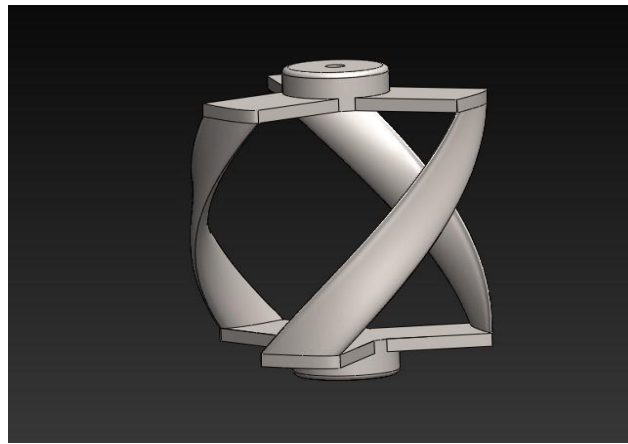


Figura 7: Impresión en 3D.

Fuente: White, Frak M. Fluid Mechanics 4 ed. Boston, Mc Graw-Hill, 2008. P.752.

1.6.2. Bases Teóricas Científicas.

1.6.2.1. Definición de Turbomáquina.

Una Turbomáquina hidráulica es un dispositivo que convierte la energía hidráulica en energía mecánica y viceversa; pueden ser motrices (turbinas), o generatrices (bombas), modificando el sentido del flujo de la energía. Todos los fenómenos que se estudian serán en régimen permanente, caracterizados por una velocidad de rotación de la máquina y un caudal, constantes. En una máquina hidráulica, el agua intercambia energía con un dispositivo mecánico de revolución que gira alrededor de su eje de simetría; éste mecanismo lleva una o varias ruedas, (rodetes o rotores), provistas de álabes, de forma que entre ellos existen unos espacios libres o canales, por los que circula el agua. Los métodos utilizados para su estudio son, el analítico, el experimental y el análisis dimensional. El método analítico se fundamenta en el estudio del movimiento del fluido a través de los álabes, según los principios de la Mecánica de Fluidos. El método experimental, se fundamenta en la formulación empírica de la Hidráulica, y la experimentación. El análisis dimensional ofrece grupos de relaciones entre las variables que intervienen en el proceso, confirmando los coeficientes de funcionamiento de las turbomáquinas, al igual que los diversos números adimensionales que proporcionan información sobre la influencia de las propiedades del fluido en movimiento a través de los órganos que las componen.

1.6.2.2. Clasificación de las Turbomáquinas Hidráulicas.

1.6.2.2.1. Según la función que desempeñan.

A. Turbomáquinas Motrices.

Recogen la energía cedida por el fluido que las atraviesa, y la transforman en energía mecánica, pudiendo ser de dos tipos:

- Dinámicas o cinéticas: Ruedas Hidráulicas y Turbinas Hidráulicas.
- Estáticas o de presión: Celulares (paletas), de engranajes, helicoidales, etc.

Las ruedas hidráulicas son máquinas capaces de transformar la energía del agua, cinética o potencial, en energía mecánica de rotación. En la energía potencial del agua se transforma en energía mecánica.

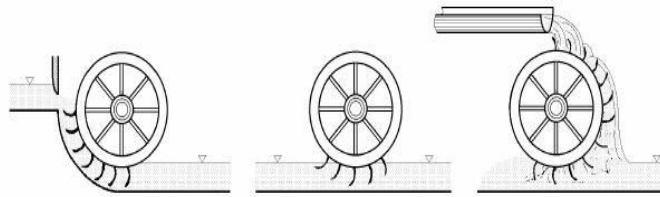


Figura 8: Turbinas de ruedas hidráulicas.

Fuente: página google

Se clasifican en:

- Ruedas movidas por el costado.
- Ruedas movidas por debajo.
- Ruedas movidas por arriba.

Su diámetro decrece con la altura H del salto de agua. Los rendimientos son del orden del 50% debido a la gran cantidad de engranajes intermedios. El número de rpm es de 4 a 8, las potencias son bajas, y suelen variar entre 5 y 15 KW, por su parte, una turbomáquina elemental tiene básicamente, una serie de álabes fijos, (distribuidor), y otra de álabes móviles, (rueda, rodete, rotor). La asociación de un órgano fijo y una rueda móvil constituye una célula; una turbomáquina se compone de tres órganos diferentes que el fluido va atravesando sucesivamente: el distribuidor, el rodete y el difusor. El distribuidor y el difusor, (tubo de aspiración), forman parte del estator de la máquina, es decir, son órganos fijos; así como el rodete está siempre presente, el distribuidor y el difusor pueden ser en determinadas turbinas, inexistentes. El distribuidor es un órgano fijo cuya misión es dirigir el agua, desde la sección de entrada de la máquina hacia la entrada en el rodete, distribuyéndola alrededor del mismo, (turbinas de admisión total), o a una parte, (turbinas de admisión parcial), es decir, permite regular el agua que entra en la turbina, desde cerrar el paso totalmente, caudal cero, hasta lograr el caudal máximo. Es también un órgano que transforma la energía de presión en energía de velocidad; en las turbinas hélico – centrípetas y en las axiales está precedido de una cámara espiral que conduce el agua desde la sección de entrada, asegurando un reparto simétrico. El rodete es el elemento esencial de la turbina, estando provisto de álabes en los que tiene lugar el intercambio de energía entre el agua y la máquina.

B. Turbomáquina Generatrices.

Aumentan la energía del fluido que las atraviesa bajo forma potencial, (aumento de presión), o cinética; la energía mecánica que consumen es suministrada por un motor, pudiendo ser:

- Bombas de álabes, entre las que se encuentran las bombas centrífugas y axiales.
- Hélices marinas, cuyo principio es diferente a las anteriores; proporcionan un empuje sobre la carena de un buque.

C. Turbomáquinas reversibles.

Tanto generatrices como motrices, que ejecutan una serie de funciones que quedan aseguradas, mediante un rotor específico, siendo las más importantes:

- Grupos turbina-bomba, utilizados en centrales eléctricas de acumulación por bombeo.
- Grupos Bulbo, utilizados en la explotación de pequeños saltos y centrales mareomotrices.

D. Grupos de transmisión o acoplamiento.

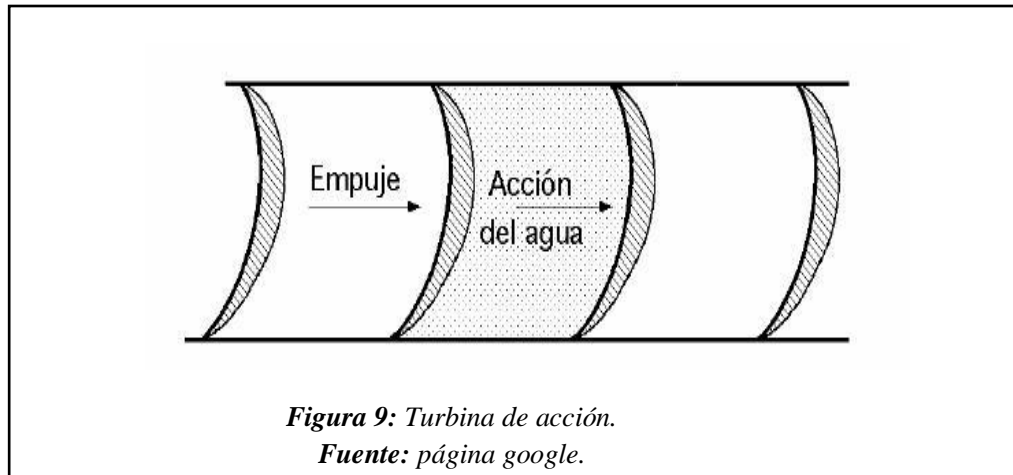
Que son una combinación de máquinas motrices y generatrices, es decir, un acoplamiento (bomba – turbina), alimentadas en circuito cerrado por un fluido, en general aceite; a este grupo pertenecen los cambiadores de par.

1.6.2.2.2. Según la presión en el rodete.

Las turbinas se clasifican en:

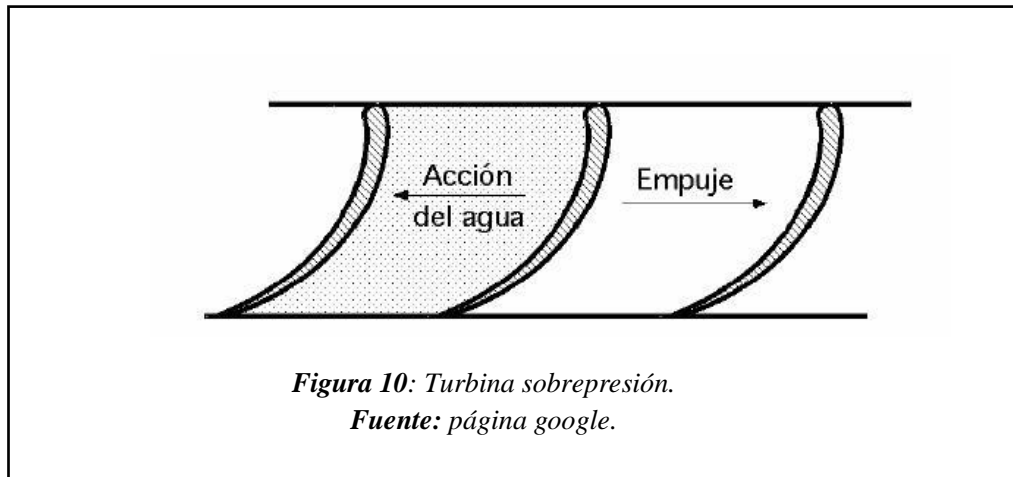
A. Turbinas de acción o impulsión

En las turbinas de acción el agua sale del distribuidor a la presión atmosférica, y llega al rodete con la misma presión; en estas turbinas, toda la energía potencial del salto se transmite al rodete en forma de energía cinética. En las turbinas de acción, el empuje y la acción del agua coinciden. Ejemplo la Turbina Peltón.



B. Turbinas de reacción o sobrepresión

En las turbinas de reacción el agua sale del distribuidor con una cierta presión que va disminuyendo a medida que el agua atraviesa los alabes del rodete, de forma que, a la salida, la presión puede ser nula o incluso negativa; en estas turbinas el agua circula a presión en el distribuidor y en el rodete y, por lo tanto, la energía potencial del salto se transforma, una parte, en energía cinética, y la otra, en energía de presión. El difusor o tubo de aspiración, es un conducto por el que desagua el agua, generalmente con ensanchamiento progresivo, recto o acodado, que sale del rodete y la conduce hasta el canal de fuga, permitiendo recuperar parte de la energía cinética a la salida del rodete para lo cual debe ensancharse; si por razones de explotación el rodete está instalado a una cierta altura por encima del canal de fuga, un simple difusor cilíndrico permite su recuperación, que de otra forma se perdería. Si la turbina no posee tubo de aspiración, se la llama de escape libre. En las turbinas de reacción, el empuje y la acción del agua son opuestos. Este empuje es consecuencia de la diferencia de velocidades entre la entrada y la salida del agua en el rodete ($w_1 - w_2$), según la proyección de la misma sobre la perpendicular al eje de giro.

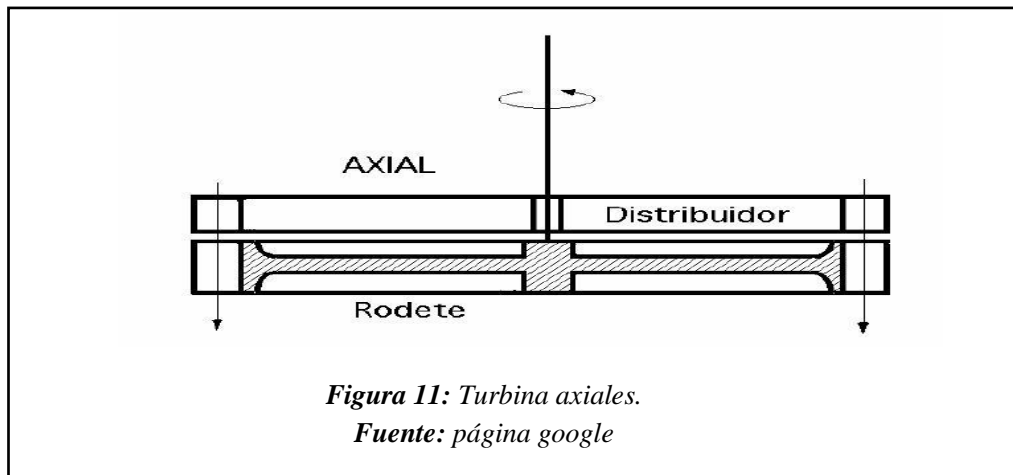


1.6.2.2.3. Según dirección de entrada del agua.

Estas pueden clasificarse en:

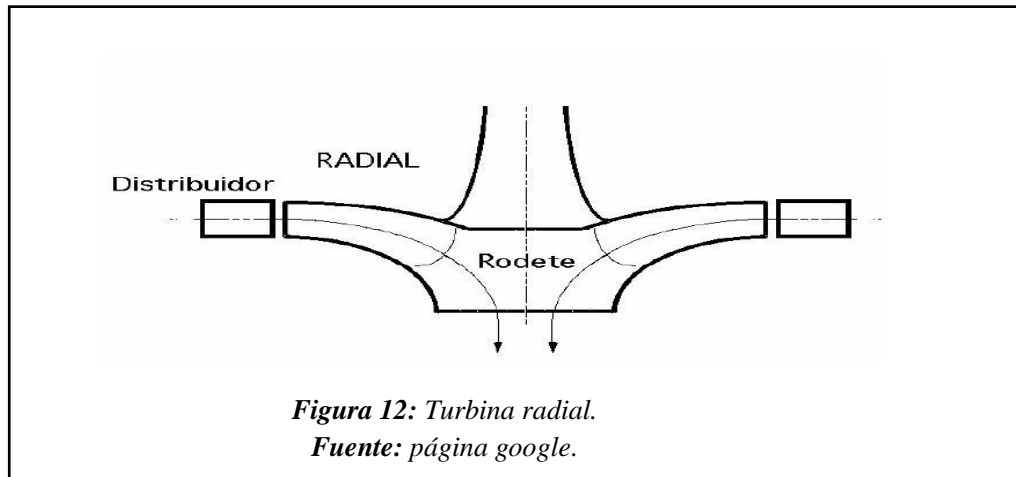
A. Turbinas Axiales.

En las axiales encontramos turbina Kaplan, hélice, bulbo, el agua entra paralelamente al eje, tal como se muestra la siguiente figura.



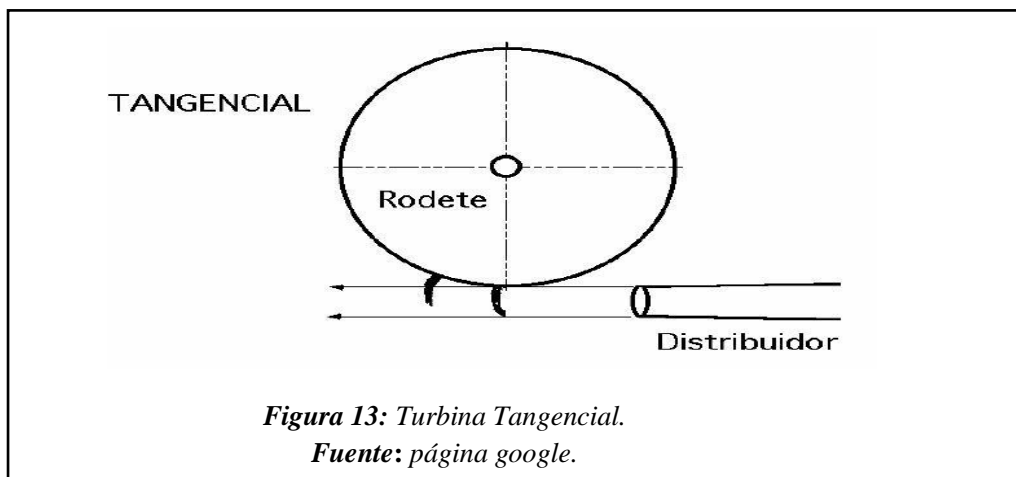
B. Turbinas Radiales (centrípetas y centrífugas).

En las radiales, el agua entra perpendicularmente al eje, siendo centrífugas cuando el agua va de dentro hacia afuera, y centrípetas, cuando el agua va de afuera hacia adentro, (Francis).



C. Turbinas Tangenciales.

En las tangenciales, el agua entra lateral o tangencialmente (Peltón) contra las palas, cangilones o cucharas de la rueda.



1.6.2.3. Turbina de Río o de Caída Cero.

La Turbina de Río no es más que un aerogenerador subacuático, Con un rotor de dos o tres palas. El rotor se suspende desde un pontón flotante, con la transmisión, generador, etc. por encima de la cubierta. Una turbina de río transforma la energía cinética de una masa fluida de agua. A diferencia de un esquema convencional, su instalación no requiere un trabajo de ingeniería civil aparte de un poste de amarre. Esta flexibilidad hace que la turbina sea conveniente para el uso en las corrientes de las mareas y estuarios. El diseño de la Turbina de Río desarrollado y mejorado es la turbina Garman, siendo el Cargador de Baterías (Aquacharger) un complemento de

esta. Además, dichas turbinas son generadoras de energía descentralizadas aplicables a ciertas áreas sin acceso a una gran red de distribución de energía. La Turbina de Río convierte la fuerza del agua en energía rotatoria del eje, una transmisión que utiliza faja y poleas aumenta la velocidad y un generador transforma la energía mecánica del eje en energía eléctrica.

A. Turbina Garman.

La Turbina Garman fue diseñada originalmente como una máquina para el bombeo de agua, para el suministro de agua a las comunidades para uso agrícola en África del Norte. Posteriormente esta turbina se ha adaptado para generar electricidad y puede además ser utilizado como una máquina para un propósito doble, bombeo de agua o generación de electricidad. Dependiendo de la disponibilidad del recurso, puede producir por encima de los 2 KW. De potencia generada (o de salida) y es un reemplazo para la bomba diésel (3HP) de tres pulgadas utilizada en muchas situaciones agrícolas.



Figura 14: Turbina Garman.

Fuente: página google.

B. Turbina Aquacharger o Cargador de Batería.

El Aquacharger (o cargador de batería) es una turbina para cargar baterías para el suministro de energía eléctrica doméstica o para el uso de los centros de salud del pueblo, las escuelas o instalaciones similares. Es más pequeño que la Turbina Garman y puede producir por encima de los 500W de energía eléctrica.



Figura 15: Turbina Aquacharger.
Fuente: página google.

1.6.2.4. Diseño de la Turbina de Río

1.6.2.4.1. Diseño Hidráulico.

Se describe los principios básicos de las turbomáquinas aplicados a los rotores, la obtención de los coeficientes de potencia y de celeridad (relación de velocidad en la punta de la pala) también llamado coeficiente de velocidad tangencial, muy importantes en el diseño de las turbinas, luego de un análisis adimensional.

A. Principios Hidráulicos.

Para facilitar el análisis teórico de la transferencia de energía entre el agua y las palas del rotor consideraremos al rotor como una Turbomáquina axial tal como se representa esquemáticamente en la figura siguiente:

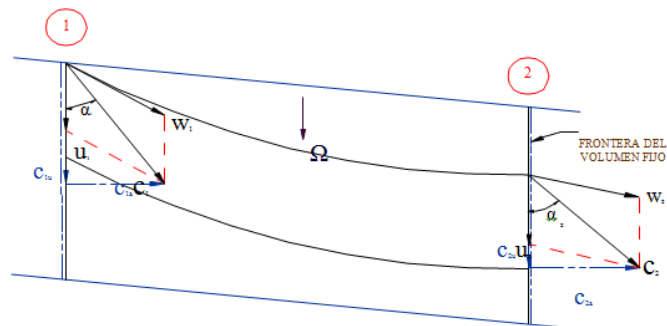


Figura 16: Esquema Turbina Axial.

Fuente:

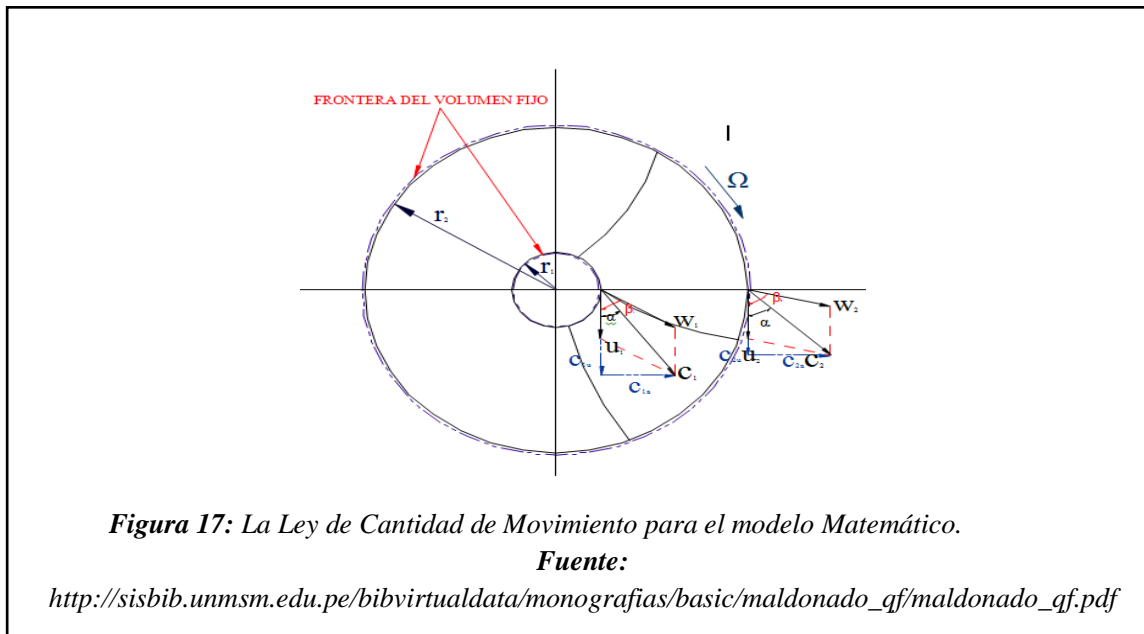
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/maldonado_qf/maldonado_qf.pdf

Como se puede observar, el agua ingresa axialmente sufriendo un cambio en la dirección al entrar en el rotor. En el presente estudio, se analiza primero el modelo matemático simple de un rotor y un flujo ideal, es decir, un modelo matemático simple de las siguientes condiciones:

1. Flujo de agua bidimensional y sin fricción interna.
2. Proceso estacionario y posición inclinada del eje del rotor.
3. Se asume que las palas son de espesor imaginario.

1.6.2.4.2. La Ley de Cantidad de Movimiento para el modelo matemático.

La potencia técnica en el eje del rotor es igual al producto de la velocidad angular Ω (rad/s), por el torque entregado por el rotor (Kg X m). Como para un proceso estacionario la velocidad angular es constante obtenemos en realidad la transferencia de este torque. El torque es el producto de un brazo por una fuerza originada en el cambio de impulso del flujo de agua. Como en un proceso estacionario el flujo de masa es constante y la rotación del rotor tiene lugar en el volumen fijo del proceso, este cambio de impulso depende solamente del cambio de la velocidad absoluta a través del volumen fijo, es decir, a través del rotor.



Los vectores de velocidades absolutas, de arrastre y relativa se designan por convención internacional como los escalares c , u y w respectivamente, suponiendo que están multiplicados por sus vectores unitarios correspondientes.

Las velocidades u de arrastre son iguales a:

$$u_1 = \Omega r_1 \text{ m/s}$$

Ecuación 1: velocidad u de arrastre.

$$u_1 = \Omega r_1 \text{ m/s}$$

Ecuación 2: Velocidad u de arrastre.

1.6.2.4.3. Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.

Aplicando la Ley de cosenos a los triángulos de velocidades de entrada y salida, se obtiene:

$$w_2^2 = c_2^2 + u_2^2 - 2u_2c_2\cos\alpha_2$$

Ecuación 3: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.

Pero:

$$c_2\cos\alpha_2 = c_{2u}$$

Ecuación 4: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.

En (3):

$$w_2^2 = c_2^2 + u_2^2 - 2u_2c_{2u}$$

Ecuación 5: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.

También:

$$w_1^2 = c_1^2 + u_1^2 - 2u_1c_1\cos\alpha_1$$

Ecuación 6: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.

Como:

$$c_1\cos\alpha_2 = c_{1u}$$

Ecuación 7: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.

En (6)

$$w_1^2 = c_1^2 + u_1^2 - 2u_1c_1$$

Ecuación 8: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.

Luego (3) – (8):

$$w_2^2 - w_1^2 = (c_2^2 - c_1^2) + (u_2^2 - u_1^2) - 2(u_2c_{2u} - u_1c_{1u})$$

Ecuación 9: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor

De aquí se deduce que como:

$$w_E = u(c_{2u} - c_{1u})$$

Ecuación 10: Transformación de la Energía Cinética a través del rotor.

Entonces, el trabajo específico de Euler resulta:

$$W_E = \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) + \left[-\frac{1}{2}(w_2^2 - w_1^2) \right] \text{ (J/Kg)}$$

Ecuación 11: Trabajo específico de Euler.

Dónde:

- $\frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2)$ representa el cambio de la energía cinética específica.
- $\left[-\frac{1}{2}(w_2^2 - w_1^2) \right]$ representa el cambio en la energía estática específica (J/Kg).

1.6.2.4.4. Grado de Reacción.

Es la relación entre la transformación de la energía estática específica en el rotor y la transformación de la energía específica de Euler $/W_E/$:

$$GR = \frac{-(w_2^2 - w_1^2)}{(c_2^2 - c_1^2) + [-(w_2^2 - w_1^2)]}$$

Ecuación 12: Grado de Reacción.

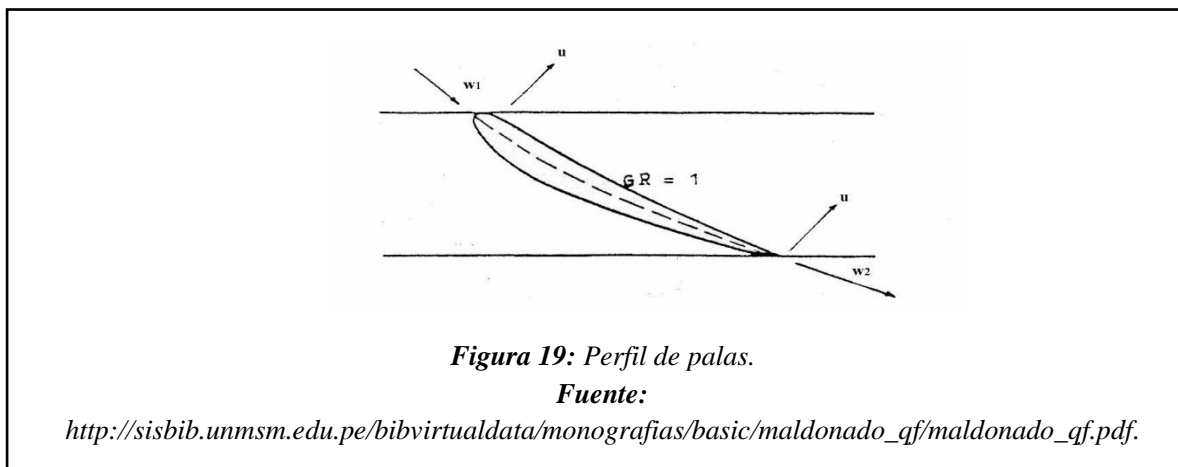
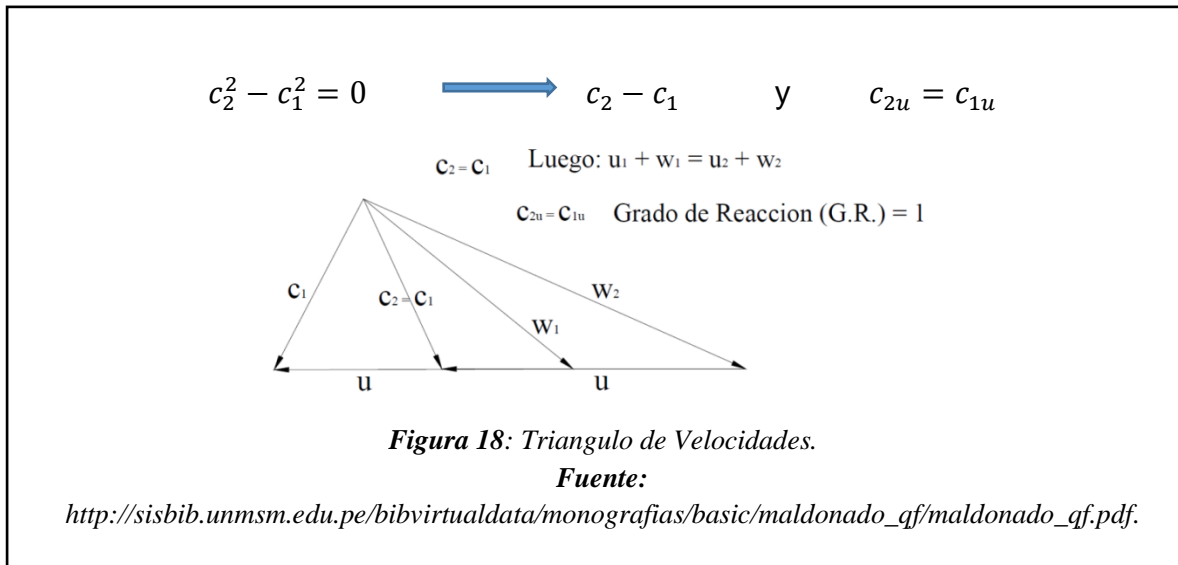
Entonces:

$$GR = \frac{-(w_2^2 - w_1^2)}{(c_2^2 - c_1^2) - (w_2^2 - w_1^2)}$$

Ecuación 13: Grado de Reacción.

Con el grado de reacción se puede sacar conclusiones sobre la forma necesaria de las paletas. Entre puntos situados inmediatamente antes y después de la rueda para

un mismo radio existe una diferencia de presiones Δp , por lo tanto, el rotor recibe un empuje. Puesto que la caída de presión es solo en el rotor, el grado de reacción es igual a uno, es decir, 100% de reacción: la energía total a través del rotor se transforma en energía estática. Como $w_2 \neq w_1$, de la última ecuación de GR:



1.6.2.5. Teoría: “Límite de Betz”

El máximo valor que puede alcanzar C_p es 0.592, nunca puede excederse de este valor máximo teórico (este concepto es el denominado Límite de Betz (1927) y expresa lo siguiente: "La máxima potencia que se puede obtener, en teoría, de una corriente de aire con una Aeroturbina ideal nunca puede superar al 59,2% de la potencia del viento incidente.". Es así que se toma este valor referencial del aerogenerador para el diseño de la Turbina de Río). En general, C_p depende del

grado de reducción de la velocidad del agua, de la disposición geométrica de la máquina y de la celeridad. C_p ha sido determinado en pruebas o ensayos efectuados en túnel de viento para diversas disposiciones de las palas siendo este de $0.8 \times C_{pmax} = 0.47$. Cuanta más alta sea la celeridad, mayor será el coeficiente de potencia. Para llegar a este límite, Betz hizo una simplificación del efecto que tiene la corriente sobre la hélice, considerando que el flujo incompresible que sea próxima hacia la máquina es lineal y se conserva como tal una vez que la ha pasado, lo cual resulta en una distribución uniforme de las fuerzas aerodinámicas (o hidrodinámicas) en la propela, desde su centro hasta la periferia; según Gorban N. Et al. Esto simplifica mucho el problema, e incluso cae en un error, ya que el flujo que pasa a través de una turbina no se conserva de forma rectilínea, y por lo tanto la distribución de fuerza no es uniforme a lo largo del radio de la hélice.

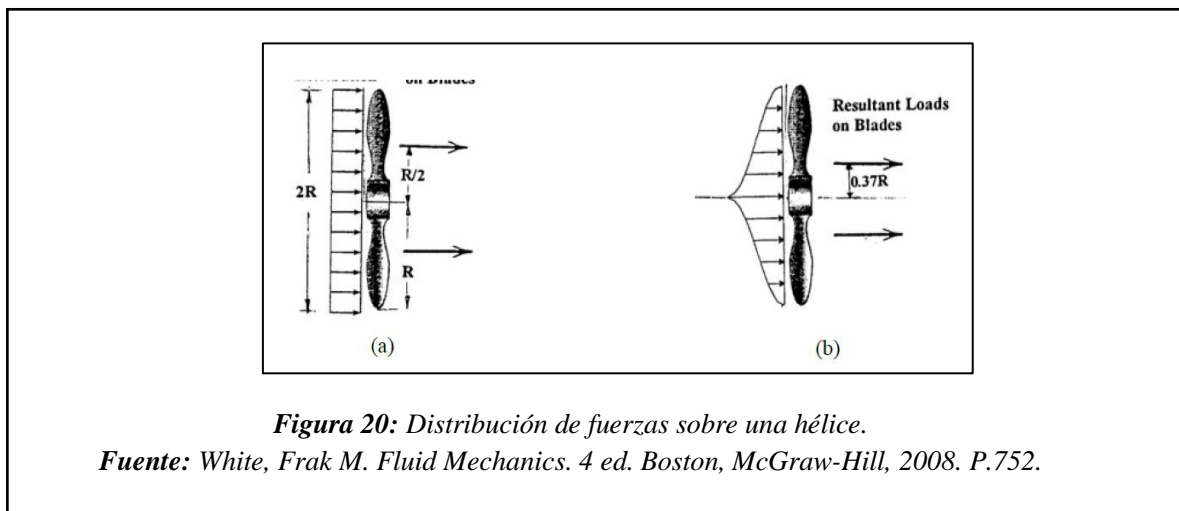


Figura 20: Distribución de fuerzas sobre una hélice.

Fuente: White, Frank M. *Fluid Mechanics*. 4 ed. Boston, McGraw-Hill, 2008. P.752.

- Según Betz
- Según Gorban N. Et al.

1.6.2.6. Aspectos Técnicos de la Turbina de Río.

1.6.2.6.1. La Energía del Agua

Uno de los parámetros más importantes en el tratamiento de cualquier fuente energética es la potencia. En este caso, cuando se instala una turbina, lo que se hace es interceptar una cierta cantidad de agua en un área de tamaño “A” que viene a ser el área de la turbina, también se le llama área de barrido por la

máquina. En dicha área se produce la transformación de la energía cinética del agua (E_c) en potencia mecánica (P), que es entregada a través del eje de la turbina.

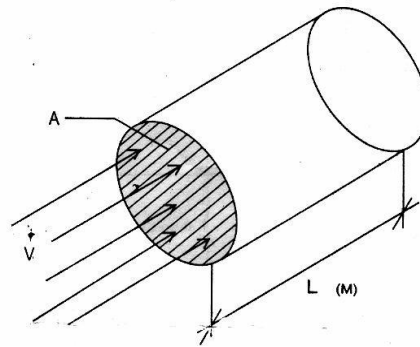


Figura 21: Área de Barrido.

Fuente:

http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/maldonado_qf/maldonado_qf.pdf.

1.6.2.6.2. Potencia Suministrada

La potencia suministrada por una Turbina de Río, depende de la superficie barrida por la hélice y, por tanto, de la longitud y del número de palas. La energía cinética del agua, debida a la masa de agua en movimiento es:

$$E_c = \left(\frac{1}{2}\right) * m * V^2$$

Ecuación 14: Potencia Suministrada

Dónde:

- m = masa del agua, Kg.
- v = velocidad instantánea del agua, m/s.

La masa de esta cantidad de agua es:

$$m = \rho * V$$

Ecuación 15: Masa de cantidad de agua.

Dónde:

- ρ = densidad del agua, $\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$.

- $V =$ volumen del cilindro barrido, (m^3).

Pero, el volumen del cilindro es:

$$V = A * L$$

Ecuación 16: Volumen del cilindro

Dónde:

- $A =$ superficie o área barrida, (m^2).
- $L =$ longitud del cilindro, (m).
- Además, L es un espacio.

Entonces:

$$L = V * t$$

Ecuación 17: Distancia.

Dónde:

- $v =$ velocidad del agua, m/s.
- $t =$ tiempo, (s).

Al reemplazar la Energía Cinética del agua (E_c) es igual a:

$$\begin{aligned} E_c &= \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * V * v^2 = \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * L * A * v^2 = \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * A * v * t * v^2 \\ &= \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * A * t * v^3 \end{aligned}$$

Ecuación 18: Energía Cinética.

Entonces:

$$E_c = \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * A * t * v^3 \quad (\text{joule})$$

Ecuación 19: Energía Cinética

Por lo tanto, la potencia teórica del agua (P) será:

$$P = \frac{E_c}{t} = \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * A * t * v^3 \quad \left(\frac{joule}{s}\right) o (W)$$

Ecuación 20: Potencia teórica

1.6.2.6.3. Factores que afectan la Potencia Suministrada

A partir de la ecuación anterior se puede observar que hay tres factores que afectan la potencia de salida en el eje de la turbina:

A. La velocidad de la corriente de agua ($v_{río}$)

La potencia del eje de la turbina es proporcional al cubo de la velocidad de la corriente aguas arriba. Esto significa que, si se duplica la velocidad del agua, la potencia de salida del rotor será incrementada por un factor de ocho.

B. Área de barrido del rotor (A_s)

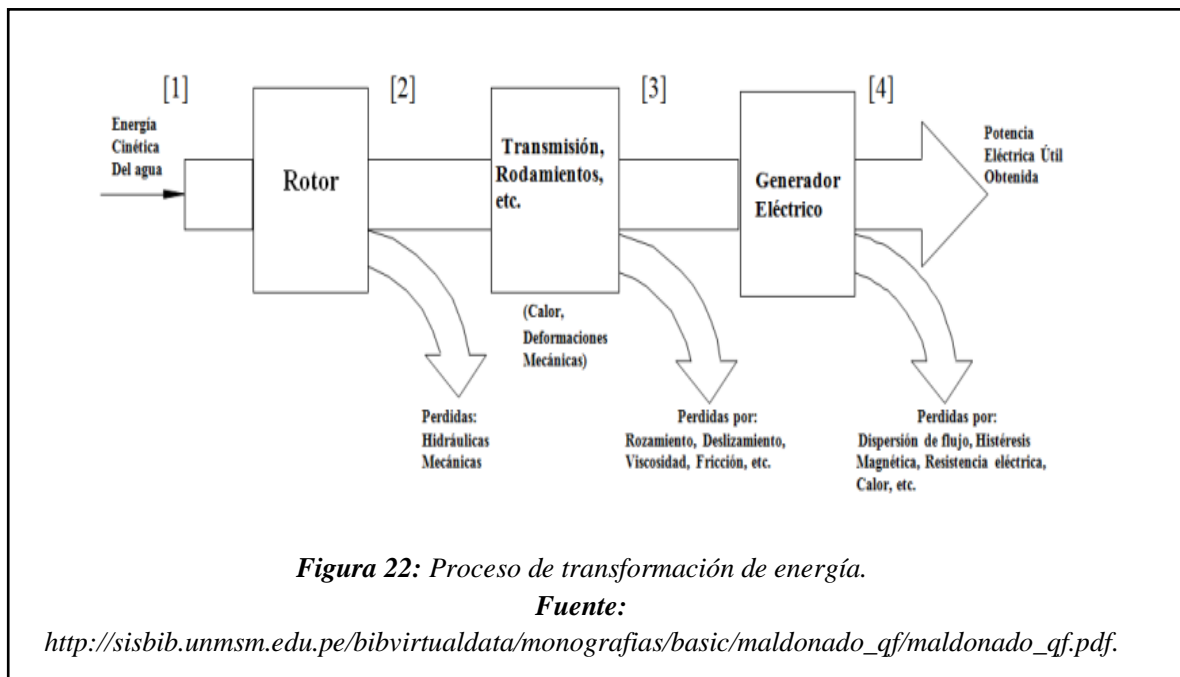
La potencia en el eje de la turbina es directamente proporcional al área de barrido del rotor.

C. Coeficiente de Potencia (C_p)

La potencia de salida es además directamente proporcional al coeficiente de potencia. Es imposible extraer toda la energía del agua fluente porque el agua que ha pasado por el rotor debe alejarse de este y por lo tanto debe aún tener alguna energía cinética. Se puede mostrar teóricamente que el máximo coeficiente de potencia (C_{pmax}) es 0.59 para una máquina que opera sobre fuerzas de sustentación tales como un propulsor (o hélice) o un rotor Darrieus y el valor de 0.33 para una máquina que opera sobre fuerzas de arrastre tales como una rueda hidráulica que flota en una corriente libre. De lo anterior se puede observar que para obtener la máxima potencia de salida en el eje deberíamos usar el tipo de rotor disponible más eficiente, logrando que esta barra un área de sección transversal de corriente de agua tan grande como sea posible y más pretenciosamente, colocarlo en una velocidad de corriente más rápida que se pueda encontrar.

1.6.2.6.4. Esquema del proceso de transformación de energía.

En la figura que a continuación se presenta se puede comprender más claramente los distintos procesos de transformación que sufre la energía manipulada en una Turbina de Río y un esquema de sus componentes vitales. La energía es capturada en su forma primitiva como energía cinética del agua, punto 1 de la ilustración, hasta llegar a representarse por un determinado valor de tensión y corriente eléctrica, punto 4, pasando por diversas transformaciones mecánicas.



1.6.2.6.5. Componentes de una Turbina de Río.

Para que una Turbina de Río pueda realizar la conversión de la energía cinética del río en energía eléctrica para consumo humano, requiere de un conjunto de componentes tales como: El rotor, las palas del rotor, la transmisión, el generador, el tablero de control, el regulador de carga, el banco de baterías y el convertidor de corriente alterna en continua (diodos rectificadores).

1.6.2.6.5.1. El Rotor

Es el componente más importante de la Turbina, su función es extraer del río una fracción de su energía cinética convirtiéndola en energía mecánica que será entregada luego a un generador eléctrico. El Rotor puede estar constituido por

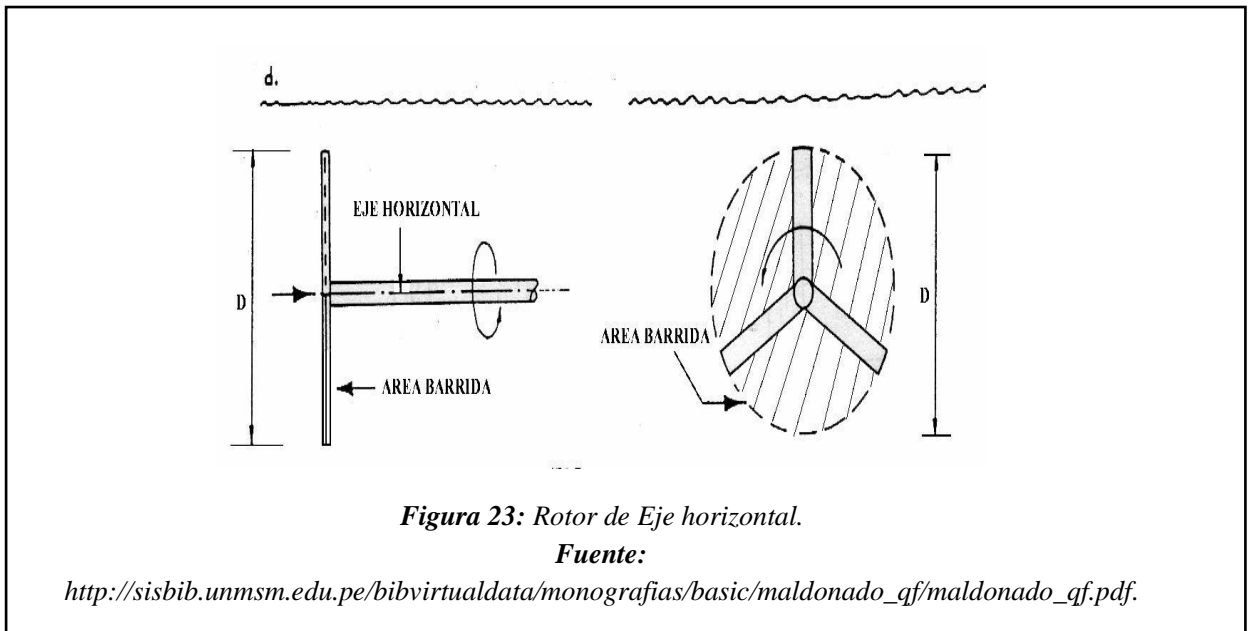
dos o tres palas con sección transversal en forma de perfil aerodinámico. Uno de los problemas más significativo en términos de la confiabilidad y larga duración de los rotores es el problema general de la fatiga. Las uniones son particularmente el foco de los problemas de fatiga local acelerados por la vibración que aparece cuando hay embalsamiento.

A. Rotor de eje horizontal.

Si el área barrida transversalmente es perpendicular a la horizontal:

$$A = \pi * \left(\frac{D^2}{4}\right) \quad (m^2)$$

Ecuación 21: Área Transversal.



Siendo D el diámetro del círculo barrido por las palas (m), por lo que la potencia disponible será:

$$P = \left(\frac{1}{8}\right) * \rho * \pi * D^2 * V^3 * C_p \quad (W)$$

Ecuación 22: Potencia disponible

Dónde:

- C_p = coeficiente de potencia del rotor de la turbina ó eficiencia del eje de la turbina, adimensional ($0 \leq C_p \leq 0.592$)
- P = Potencia en el eje de la turbina, (W).

Para propósitos de cálculo del diámetro de las palas del rotor, la potencia de diseño será aquella potencia de salida del generador (P_g).

Entonces:

$$P_g = P * n_g * n_{tr}$$

Ecuación 23: Potencia del generador.

Dónde:

- P_g = Potencia de salida del generador, (W).
- n_{tr} = eficiencia de la transmisión, (adimensional).
- n_g = eficiencia del generador, (adimensional).

Luego, al reemplazar en la Ecuación 23:

$$P_g = \frac{1}{8} * \rho * \pi * D^2 * V^3 * C_p * n_g * n_{tr}$$

Ecuación 24: Potencia del generador

Despejando el Diámetro (m):

$$D = \sqrt{\frac{8 * P_g}{\rho * \pi * V^3 * C_p * n_g * n_{tr}}}$$

Ecuación 25: Diámetro

$$R = \sqrt{\frac{2 * P_g}{\rho * \pi * V^3 * C_p * n_g * n_{tr}}}$$

Ecuación 26: Radio

B. ROTOR DE EJE INCLINADO.

Si el rotor es de eje inclinado con respecto del nivel del agua del río, entonces el área barrida perpendicular a la dirección de la corriente del río será:

$$A = \pi * \left(\frac{D^2}{4}\right) * \cos(\theta) \quad (m)^2$$

Ecuación 27: Área del rotor de eje inclinado

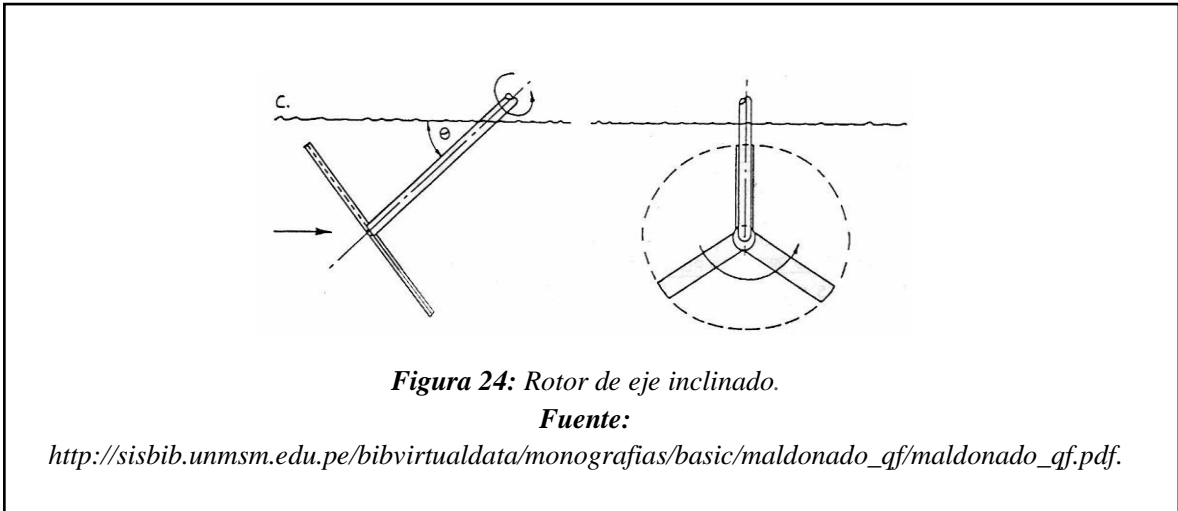


Figura 24: Rotor de eje inclinado.

Fuente:

http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/maldonado_qf/maldonado_qf.pdf

Entonces, la potencia disponible será:

$$P = \left(\frac{1}{8}\right) * \rho * \pi * D^2 * \cos(\theta) * C_p \quad (W)$$

Ecuación 28: Potencia disponible del rotor eje inclinado

Sustituyendo en 23:

$$P_g = \left(\frac{1}{8}\right) * \rho * \pi * D^2 * v^3 * \cos(\theta) * C_p * n_g * n_{tr} \quad (W)$$

Ecuación 29: potencia del generador eje inclinado

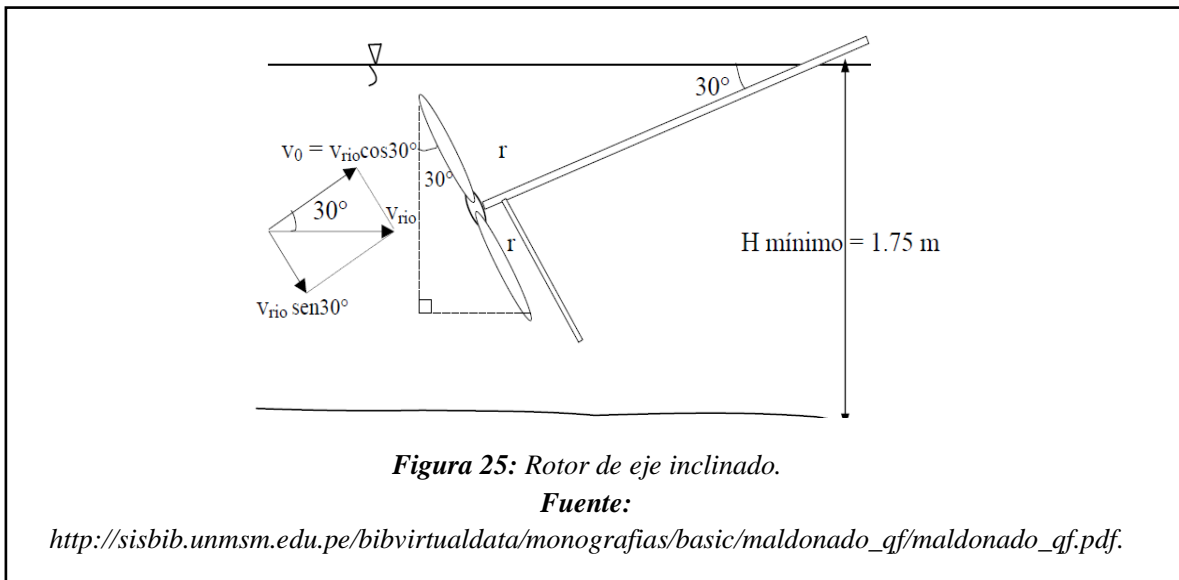
Despejando el Diámetro (m):

$$D = \sqrt{\frac{8 * P}{\rho * \pi * V^3 * \cos(\theta) * C_p * n_g * n_{tr}}}$$

Ecuación 30: Diámetro eje inclinado

$$R = \sqrt{\frac{2 * P_g}{\rho * \pi * V^3 * \cos(\theta) * C_p * n_g * n_{tr}}}$$

Ecuación 31: Radio eje inclinado



1.6.2.6.5.2. Las palas o álabes del rotor.

Son los elementos encargados de extraer parte de la energía cinética del río y transformarla en energía mecánica en el eje de transmisión a través del giro de las mismas palas.

A. Dimensionamiento del alabe de la turbina

Para los alabes de la Turbina de Río, generalmente se usan perfiles estándares como lo son los perfiles NACA. Asimismo, debido a la alta velocidad que requieren para ser acoplados a los generadores eléctricos, se hace necesario hacer un cálculo hidrodinámico cuidadoso y su cálculo se hace en forma

iterativa y sección por sección para diferentes posiciones del álabe, a lo largo del radio. Sin embargo, con buena precisión y para fines prácticos se pueden usar las ecuaciones de la teoría del diferencial de pala antes expuestos, y que para el caso de pequeñas máquinas son lo suficientemente precisas. Esta teoría del diferencial de pala simplificada se utiliza cuando el requerimiento de potencia no es muy grande y la velocidad de diseño del río no es mayor de 1.5 m/s. Para este caso, se usa una celeridad de diseño o relación de velocidad en la punta de la pala λ_0 de 5, que se convierte en un dato de entrada.

Tabla 1: Celeridad y N° de alabes

Celeridad (λ_0)	N° de alabes recomendados (Z)
1	6-20
2	4-12
3	3-6
4	2-4
5-8	2-3
8-15	4-2

Fuente: Página google.

1.6.2.6.5.3. El eje de Transmisión.

Un árbol de transmisión es un eje que transmite un esfuerzo motor y está sometido a sollicitaciones de torsión debido a la transmisión de un par de fuerzas y puede estar sometido a otros tipos de sollicitaciones mecánicas al mismo tiempo.

Ventajas:

- Bajo costo en su fabricación.
- Buena resistencia.
- Fiable ante par motor de gran magnitud.



Figura 26: El eje de transmisión.

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/whell-loader-parts-transmission-shaft-301166769.html>.

1.6.2.6.5.4. Rodamientos del Rotor.

El eje del rotor debe ser sostenido en rodamientos o cojinetes que lo sostiene en la posición correcta relativa a la corriente del río y permiten que éste gire tan libremente como sea posible. Si se tiene que sostener el eje en cada extremo por un rodamiento montado sobre una estructura, al menos uno de los rodamientos debe permitir algún movimiento axial para soportar la flexión de la estructura y ambos deben permitir algún desajuste para compensar los errores del montaje. El rotor Propulsor de eje inclinado tiene un rodamiento por encima del agua por lo que es conveniente un cojinete de una sola hilera de bolas. El rodamiento utilizado es del tipo auto alineado y sellado o montado en una polea de hierro fundido tan comúnmente utilizado en maquinaria agrícola. Este rodamiento proporciona una ubicación axial para el eje del rotor, además conduce el empuje axial hacia el rotor. Además, se tiene un rodamiento en el otro extremo del eje ubicado dentro del agua, el cual presenta las mismas características que el anterior rodamiento.

1.6.2.6.5.5. La Transmisión.

Es el elemento encargado de transmitir la potencia mecánica del rotor al generador eléctrico. Su función consiste en elevar la velocidad del rotor desde unos cuantos rpm hasta velocidades de cientos rpms que son las requeridas usualmente por los generadores comunes. Como elementos de transmisión se utilizan fajas y poleas. Se dispone de una fracción de la energía de la corriente del río extraída por el rotor de la turbina en el eje que gira el cual ejerce un

torque (o fuerza que la hace rotar) en contra de una carga. Las fajas planas montadas sobre superficies convexas de la polea son de difícil desgaste, no son muy afectados por el sol y la lluvia y toleran un desajuste. La eficiencia de la transmisión por faja plana para nuestro caso es alrededor del 85 %, dando un alineamiento razonable del eje.

1.6.2.6.5.6. El Generador Eléctrico.

Es el componente productor de la energía eléctrica que se acopla directa o indirectamente al eje de la turbina. Es la parte encargada de transformar la energía mecánica recibida por el rotor en energía eléctrica útil. Existen dos tipos de generadores, en general, los de corriente alterna CA y los de corriente continua CC, siendo más usados los de CA debido a que trabajan bien a distintos rpm, mientras que los de CC necesitan de rpm casi constantes y altas velocidades de rotación lo cual no es muy fácil de conseguir con una Turbina de Río debido a la naturaleza variable de la velocidad del río que provoca también la variación de la velocidad de giro del rotor.

A. Características de los generadores.

a. Voltaje.

En nuestro medio se venden generadores monofásicos con voltajes de salida de 12, 24, 120 y 240 V, y generadores trifásicos que utilizan 240/415 V. Cuando no se considera el uso de transformadores de voltaje, entonces los equipos y los aparatos que se conectarán al sistema deberán ser compatibles en voltaje.

b. Perdidas por conversión de energía.

Esto se debe a que cada componente del sistema pierde energía en forma de fricción, calor, ruido, etc. La eficiencia de los generadores para producir energía útil varía entre 60% para pequeños generadores de corriente alterna, 80% para rangos entre 5 – 10 KW y 90% para equipos mayores a 50 KW.

c. Potencia de salida.

Es la potencia que queda luego de haber considerado todas las pérdidas en el sistema, está en función de la eficiencia del equipo completo. Conociendo la

eficiencia, se puede predecir con aproximación la potencia de salida del generador que se desea utilizar. Sin embargo, estos datos deben ser suministrados por el proveedor de estos equipos al momento de su venta.

d. Factor de potencia ($\cos\phi$).

Si el circuito externo es solamente resistivo, entonces la corriente y el voltaje se hallan en fase, el valor de uno es directamente proporcional al del otro y el factor de potencia es $\cos\phi = 1$, ya que el voltaje y la corriente varían con el tiempo, en la siguiente expresión se trata del valor promedio de la potencia de salida del generador.

$$P_0 = E_0 * I_0$$

Ecuación 32: Factor de potencia

Dónde:

- P_0 = Potencia efectiva, (W)
- E_0 = Voltaje efectivo (V)
- I_0 = corriente efectiva (A)

B. Generadores de Corriente Alterna.

También llamados alternadores pueden ser de tipos: monofásicos y trifásicos. Comercialmente se pueden adquirir generadores monofásicos para cubrir todos los rangos de potencia, mientras que los trifásicos cubren los rangos de 2-3 KW, sin embargo, la generación monofásica se utiliza en esquemas menores a 10 – 15 KW, ya que, por debajo de esta potencia nominal, las cargas individuales representarían un gran porcentaje del total de la capacidad del generador y balancear las cargas se tornaría muy difícil. Entre los generadores de velocidad constante se tiene el síncrono aplicable para potencias medias y altas, el de inducción para potencias pequeñas y el de magnetización permanente, para potencias muy pequeñas.

1.6.2.6.5.7. El Tablero de Control.

Cuenta con los instrumentos de medición básicos (voltímetro y amperímetro), y los respectivos diodos rectificadores de corriente alterna en continua para 12 V.

A. El convertidor.

Es el componente encargado de convertir la corriente continua proveniente de las baterías en corriente alterna. Los dispositivos convertidores se caracterizan por su elevado costo y por su reducida eficiencia por lo que deberían ser los más pequeños posibles. Los convertidores pueden ser rotativos y estáticos; el rotativo o dinámico es un motor de CC que gira a una velocidad constante y que está conectado a un generador de CA, su eficiencia es del orden de 50 a 75% y presenta una corriente de vacío de 15 a 20%. El convertidor estático de estado sólido convierte la CC en CA de 60 Hz. a través de medios electrónicos, su eficiencia es del 85% y solo lleva una corriente de vacío de 2 a 4%. Los convertidores rotativos cuestan menos que los estáticos y cuando compiten en función de la carga no hay mucha diferencia entre ambos en lo que respecta a pérdidas. Sin embargo, el uso de este dispositivo no es recomendable en la presente aplicación por ser de naturaleza doméstica.

B. El regulador de carga.

Es importante conocer el funcionamiento de un regulador o controlador de carga, porque éste es necesario cuando se utilizan baterías. El controlador de carga es un dispositivo electrónico que regula el estado de carga entre límites preestablecidos. El voltaje de las baterías se mide y se toma como factor principal para estimar el estado de carga, además del voltaje, algunos controladores miden la temperatura de la batería. Es muy importante el uso de un controlador de carga para incrementar la vida útil de las baterías.

C. La batería.

Es la parte encargada de almacenar la energía eléctrica producida por el generador en forma de corriente continua. Existen dos grandes tipos de baterías para el almacenamiento de electricidad, la de plomo – ácido y la batería alcalina (tanto la de níquel – hierro como la de níquel –cadmio)

1.6.2.6.5.8. Selección del Rotor.

La función del rotor de la turbina es convertir tanto como sea posible del flujo la energía cinética a través de este en potencia útil del eje. Hay dos tipos básicos de rotor que operan bajo diferentes principios: Las máquinas que tienen sus superficies efectivas moviéndose en la dirección de la corriente y que son empujados por el arrastre del agua (resistencia al avance), por ejemplo, una rueda hidráulica y las máquinas que tienen sus superficies efectivas moviéndose a un ángulo de la dirección del agua y que opera bajo fuerzas de sustentación.

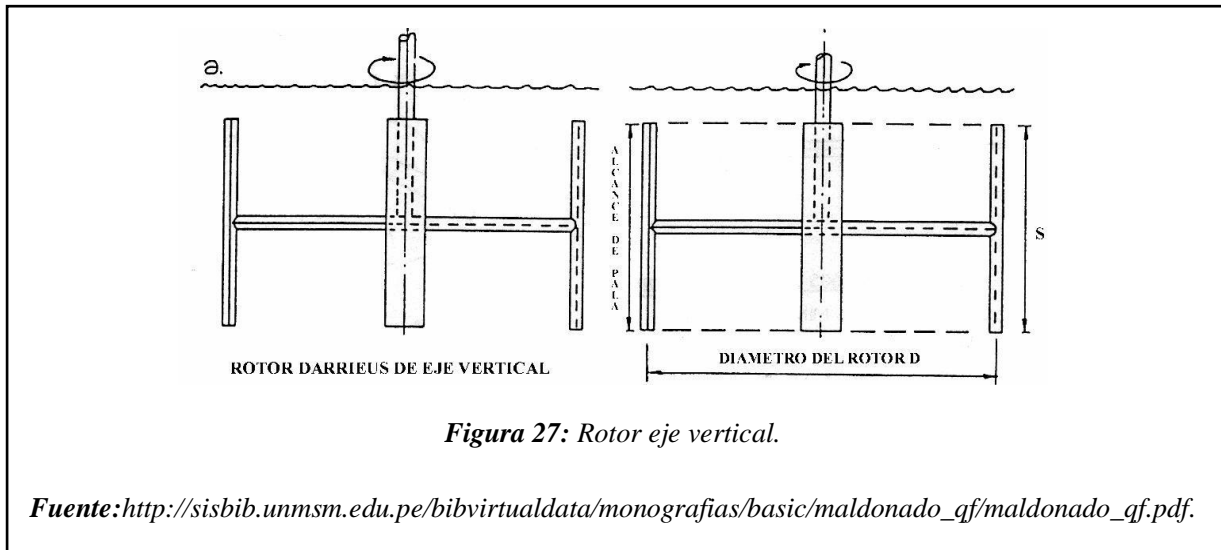


Tabla 2: Valores Turbina vertical Darrieus.

Mínimo de 4 palas	Área de barrido = $s \times d$
Profundidad requerida = 2.1 m	$s = 1.25 \text{ m}, d = 2.2 \text{ m}$
R.P.M a velocidad de 1 m/s = 13.5	$A_s = 2.72 \text{ m}^2$

Fuente: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/maldonado_qf/maldonado_qf.pdf.

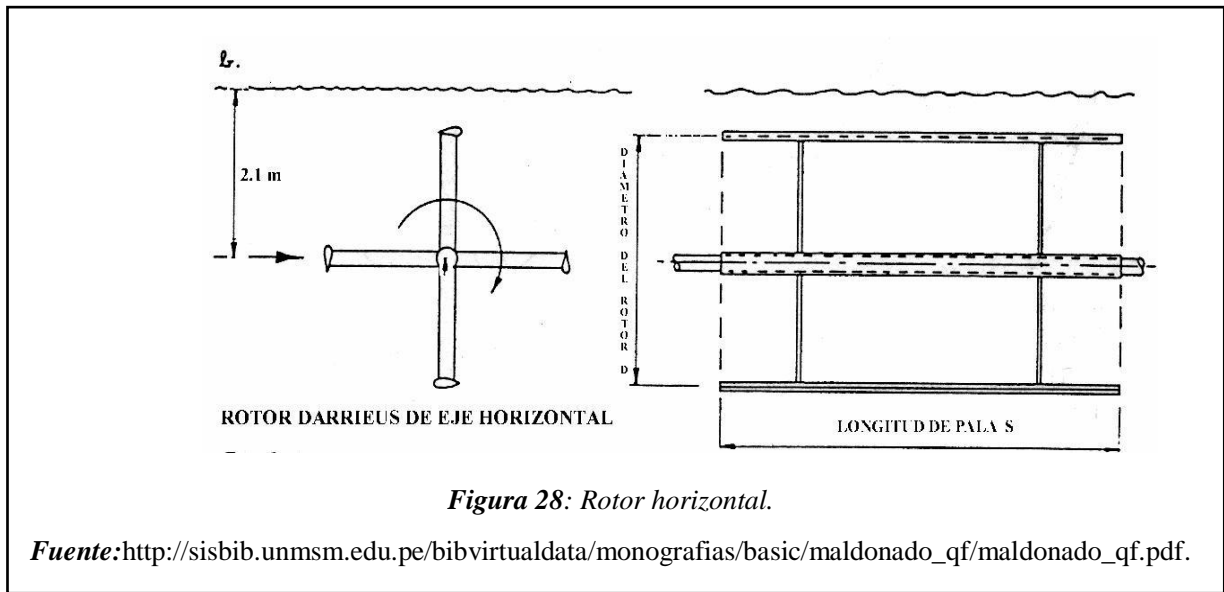


Tabla 3: Valores Turbina Horizontal Darrieus

Mínimo de 4 palas	Área de barrido = s x d
Profundidad requerida = 2.1 m	$s = 1.25 \text{ m}, d = 2.2 \text{ m}$
R.P.M a velocidad de 1 m/s = 32	$A_s = 2.72 \text{ m}^2$

Fuente: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/maldonado_qf/maldonado_qf.pdf.

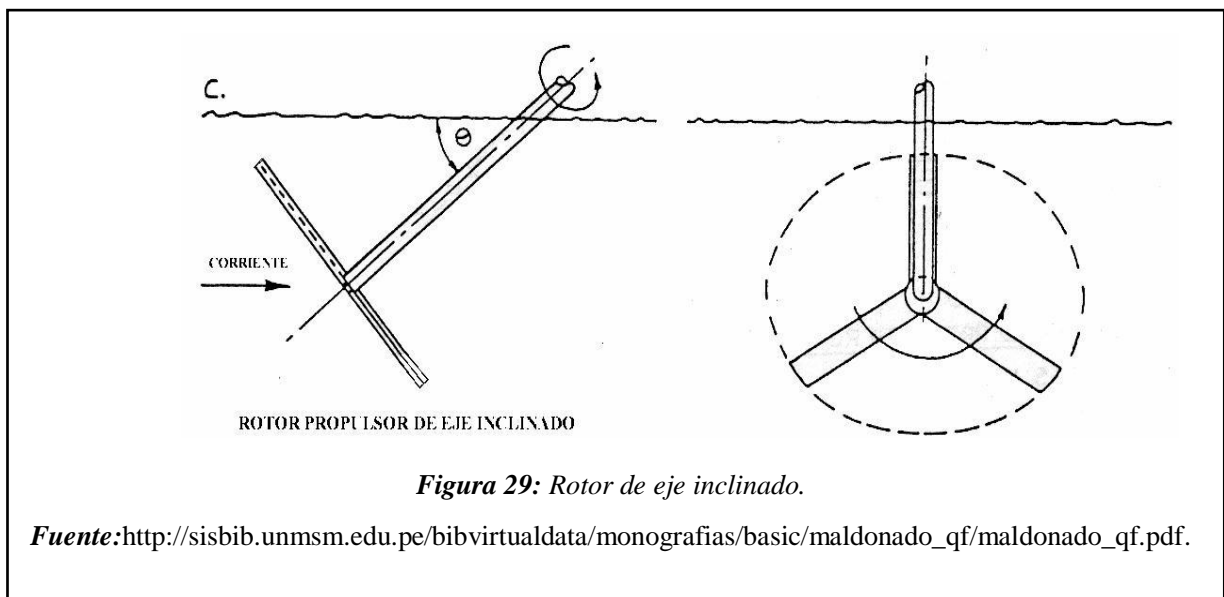


Tabla 4: Rotor de eje inclinado

Mínimo de 3 palas	Área de barrido = $(\pi/4)xd^2 \times \text{Cos}\theta$
Profundidad requerida = 1.75 m	$\theta = 30^\circ, d = 2 \text{ m}$
R.P.M a velocidad de 1 m/s = 48	$A_s = 2.72 \text{ m}^2$

Fuente: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/maldonado_qf/maldonado_qf.pdf
f.

1.6.2.6.5.9. Selección del Lugar.

Las turbinas de corriente de río son una tecnología específica del lugar, además el diámetro del rotor de la máquina dependerá de la velocidad de la corriente del río. Es necesario inspeccionar el lugar sugerido para la máquina para proporcionar la siguiente información básica:

- La máxima y mínima velocidad de la corriente del río para los meses que la máquina será utilizada.
- La mínima profundidad del río en la posición donde la turbina operara y la mínima profundidad en la orilla del río. Riesgos medioambientales tales como escombros flotantes, circulación del río, etc.

1.6.2.7. Normatividad.

- *La American Society of Mechanical Engineers (A.S.M.E.)*, es la autora de una norma para el cálculo de árboles que se basa, en la suposición de que el árbol esté construido de un material dúctil cuya resistencia a la rotura por tracción es doble de la resistencia a la rotura por corte. Para este caso, el cálculo del diámetro del árbol se rige por la teoría de la máxima tensión tangencial, independientemente de la relación del momento torsor al momento flector.

- **Ley 29783.- Seguridad y Salud en el Trabajo** -DECRETO SUPREMO N° 009-2005-TR
- **OHSAS 18001.-** Seguridad y Salud en el Trabajo
- **ASTM.** - que desarrollan normas relacionadas con los metales y las aleaciones, mantienen su vitalidad y dinamismo. Tanto el A01 como el B02 son responsables de docenas de normas que revisan y modifican para que reflejen los cambios en los datos de las propiedades de las aleaciones o el surgimiento de nuevas. Los Comités A01 sobre Acero, acero inoxidable y aleaciones relacionadas, y el B02 sobre metales no ferrosos y aleaciones son dos de estos grupos.
- **La norma AISI.** - Sobre la base de un determinado grado; AISI 420, para los martensíticos; AISI 430 para los ferríticos, AISI 304 y AISI 316 para los austeníticos y para los Austenoferríticos: AISI 201 y AISI 202; modificando uno o varios elementos de aleación obtenemos distintos grados dentro del mismo grupo aptos para mejorar algunas propiedades y/o usos de los metales.
- **Ley N° 29157.-** Decreto legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables
- **Decreto Ley N° 25844.-** Ley de Concesiones Eléctricas.
- **Decreto Supremo N° 020-97-EM.** - Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos
- **Decreto Supremo N° 012-2011-EM.** - Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías Renovables
- **Ley N° 28749.-** Ley General de Electrificación Rural.
- **Decreto Supremo N° 025-2007-EM.** - Reglamento de la Ley de Electrificación Rural.

1.6.2.8. Plan de Mantenimiento.

El plan de mantenimiento está previsto para conocer el estado actual y la evolución futura de la turbina hidrocíntrica, obteniendo la máxima información de cómo el funcionamiento afecta a la vida de la turbina, del generador y del transformador, con el objetivo de detectar cualquier anomalía antes de que origine un grave daño y una parada no programada. Este plan de mantenimiento, complementado con el ordinario, se ha convertido en una herramienta fiable para asegurar la disponibilidad de los grupos. Básicamente consiste en la aplicación de las técnicas siguientes:

1.6.2.8.1. Trabajos de lubricación.

Las partes móviles de una turbina son muchas y por eso algunas necesitan lubricación para disminuir su desgaste, y algunas piezas no requieren lubricación.

1.6.2.8.2. Controles funcionales.

Mensualmente deben controlarse el funcionamiento de los sistemas de seguridad, como interruptores límites, presostatos, medición de velocidad.

1.6.2.8.3. Trabajo de mantenimiento resultante del servicio.

Con el fin de eliminar sedimentos de arena, piedras en el álabe, la frecuencia de estos trabajos de mantenimiento se rige de acuerdo al grado de ensuciamiento de cada componente.

1.6.2.8.4. Controles periódicos en el rodete.

Desde el momento de la puesta en servicio de un rodete debe controlarse a fisuras y desgastes en los periodos indicados a continuación:

Tabla 5: Mantenimiento- horas de servicio.

24 horas de servicio	Control visual
450 horas de servicio	Control visual
900 horas de servicio	Control a fisuras superficiales en los álabes
1800 horas de servicio	Control a fisuras superficiales en los álabes
4000 horas de servicio	Este control debe repetirse cada 4000 horas.

Fuente: página google.

1.6.2.9. Gestión o Impacto Ambiental.

Para contar con un Sistema de Gestión de seguridad es importante establecer políticas y normas que se deben cumplir. Para esto se establecen procedimientos las cuales tienen como fin cumplir el reglamento de SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL- LEY 29783.

- Se establecerá cerco perimétrico en la zona donde se sitúa la turbina.
- Solo personal capacitado podrá operar la turbina
- Se capacitará a personal en el funcionamiento de la turbina.
- Personal podrá entrar a los límites del cerco solo con los EPP adecuados los cuales son:

A) Mecánicos:

- Botas punta de acero
- Lentes
- Arnés de seguridad
- Mameluco
- Casco

B) Electricistas:

- Botas dieléctricas

- Herramientas dieléctricas
- Mameluco
- Casco

1.6.2.10. Gestión Ambiental.

La gestión ambiental responde al "cómo hay que hacer" para conseguir lo planteado por el desarrollo sostenible, es decir, para conseguir un equilibrio adecuado entre los medios para generar energía eléctrica y el uso racional de los recursos ambiente. Es por esta razón que se establece:

- **Primero:** La utilización de una turbina hidrocínética, no necesita la construcción de represas o embalses, por la cual no se alteraría el medio ambiente.
- **Segundo:** Con este tipo de turbina no se interrumpe el caudal del agua, la cual no afectaría al consumo hídrico de los pobladores o en sus sembríos.

1.6.2.11. Evaluación Económica (VAN y TIR)

La evaluación económica mide el resultado económico de una inversión sin tener en cuenta un probable préstamo. La evaluación financiera permite determinar los beneficios del proyecto incluido el financiamiento

A) El valor actual neto (VAN).

El valor actual neto es la suma algebraica de los flujos netos actualizados del proyecto, si es positivo, conviene ejecutar el proyecto.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^{t=n} BN/(1 + td)^t$$

Ecuación 33: Valor actual neto.

Dónde:

- I_0 =Inversión inicial
- BN= Flujo de beneficios
- $t= 1, 2, 3, \dots, n$ (periodo de años)

- n= Horizonte del proyecto
- t_d = Tasa de descuento (CPK o COK)

Tabla 6: Valor Actual Neto.

VALOR	SIGNIFICADO	DECISIÓN A TOMAR
VAN > 0	La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto puede aceptarse
VAN < 0	La inversión produciría pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto debería rechazarse
VAN = 0	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas	Dado que el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida (r), la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Valor_actual_net

B) Tasa interna de retorno (TIR).

Es aquella tasa de descuento que hace que el VAN = 0. Permite medir directamente la rentabilidad del proyecto. La TIR debe ser mayor que la tasa de descuento para aceptar el proyecto: (TIR > t_d).

$$TIR = -I_0 + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{BN}{(1+r)^t}$$

Ecuación 34: Tasa interna de retorno.

Dónde:

- r: tasa de descuento

Si utilizamos la calculadora debemos llegar al TIR por tanteos, es decir, calcular un VAN (+) cercano a cero y otro (-) cercano a cero, donde se encuentra la TIR.

Para ello se utiliza la fórmula siguiente:

$$TIR = td1 + \frac{VAN1(td2 - td1)}{VAN1 + VAN2}$$

Ecuación 35: Tasa interna de retorno.

El criterio general para saber si es conveniente realizar un proyecto es el siguiente:

- Si $TIR \geq r \rightarrow$ Se aceptará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida (el coste de oportunidad).
- Si $TIR < r \rightarrow$ Se rechazará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida.
- r representa el costo de oportunidad.

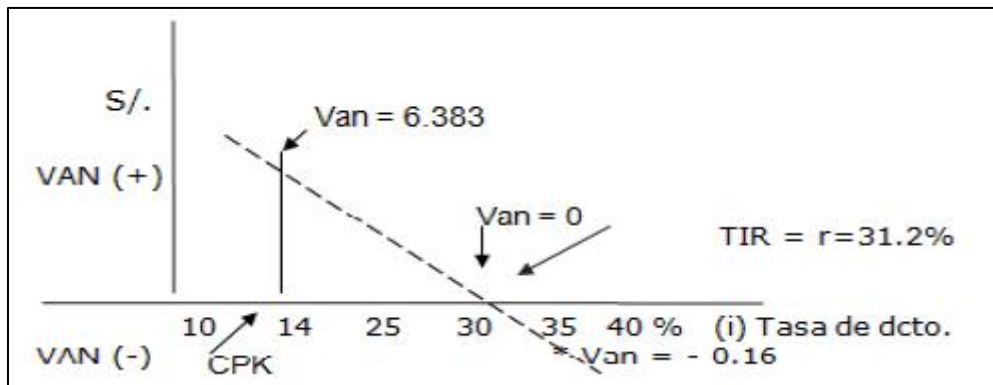


Figura 30: Grafica VAN y TIR.

Fuente: Evaluación de proyectos de inversión.

1.7. *Definición de la Terminología*

- **Turbina:** es el nombre genérico que se da a la mayoría de las turbomáquinas motoras. Éstas son máquinas de fluido, a través de las cuales pasa un fluido en forma continua y éste le entrega su energía a través de un rodete con paletas o álabes. La turbina es un motor rotativo que convierte en energía mecánica la energía de una corriente de agua, vapor de agua o gas. El elemento básico de la turbina es la rueda o rotor, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento de una máquina, un compresor, un generador eléctrico o una hélice.

- **Hidrocinética:** La tecnología hidrocinética describe la capacidad de producir de energía renovable de cero emisiones mediante la circulación de agua. A diferencia de las tradicionales convencionales de energías hidroeléctricas, que requieren de un embalse de agua para lo que se construye una gran presa, no son necesarias grandes infraestructuras, eliminando efectos secundarios negativos para el medio ambiente y la vida marina. Hydro Green Energy, LLC desarrolla, diseña, construye y opera proyectos basados en centrales hidroeléctricas que generan electricidad a partir exclusivamente de agua en movimiento (corrientes fluviales, las corrientes de marea, y las corrientes oceánicas) sin tener que construir embalses, canalizaciones, u otros proyectos de infraestructura.

- **Flujo Axial:** Flujo axial es que el flujo de agua circula paralelo al eje de rotación de la turbina, es decir las gotas de agua evolucionan en un cilindro de paredes delgadas, y radial que el flujo evoluciona en un plano perpendicular al eje, en la realidad todos los flujos son mixtos, mezcla radial-axial.

- **Potencia:** La potencia eléctrica es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La unidad en el Sistema Internacional de

Unidades es el vatio (watt). Cuando una corriente eléctrica fluye en cualquier circuito, puede transferir energía al hacer un trabajo mecánico o termodinámico. Los dispositivos convierten la energía eléctrica de muchas maneras útiles, como calor, luz (lámpara incandescente), movimiento (motor eléctrico), sonido (altavoz) o procesos químicos. La electricidad se puede producir mecánica o químicamente por la generación de energía eléctrica, o también por la transformación de la luz en las células fotoeléctricas. Por último, se puede almacenar químicamente en baterías.

- **Caudal:** En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

- **Energía:** El término energía (del griego ἐνέργεια *enérgeia*, ‘actividad, operación’; “fuerza de acción” o ‘fuerza trabajando’) tiene diversas acepciones y definiciones, relacionadas con la idea de una capacidad para obrar, transformar o poner en movimiento. En física, «energía» se define como la capacidad para realizar un trabajo. En tecnología y economía, «energía» se refiere a un recurso natural (incluyendo a su tecnología asociada) para extraerla, transformarla y darle un uso industrial o económico.

- **Generación:** consiste en transformar alguna clase de energía (química, cinética, térmica o lumínica, nuclear, solar entre otras), en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico. La generación eléctrica se realiza, básicamente, mediante un generador; si bien estos no difieren entre sí en cuanto a su principio de funcionamiento, varían en función a la forma en que se accionan.

- **Diseño:** En ingeniería el diseño mecánico es el proceso de dar forma, dimensiones, materiales, tecnología de fabricación y funcionamiento de una máquina para que cumpla unas determinadas funciones o necesidades. El diseño se diferencia del análisis, en que en este se toma un diseño ya existente para estudiarlo, y verificar que cumpla con las necesidades para las que fue diseñado.

- **Álabes:** Es la paleta curva de una turbomáquina o máquina de fluido rotodinámica. Forma parte del rodete y, en su caso, también del difusor o del distribuidor. Los álabes desvían el flujo de corriente, bien para la transformación entre energía cinética y energía de presión por el principio de Bernoulli, o bien para intercambiar cantidad de movimiento del fluido con un momento de fuerza en el eje. En el caso de las máquinas generadoras, esto es, bombas y compresores, los álabes del rodete transforman la energía mecánica del eje en entalpía. En las bombas y compresores con difusor, los álabes del estator recuperan energía cinética del fluido que sale del rotor para aumentar la presión en la brida de impulsión. En las bombas, debido al encarecimiento de la máquina que ello con lleva, se dispone de difusor únicamente cuando obtener un alto rendimiento es muy importante, por ejemplo en máquinas de mucha potencia que funcionan muchas horas al año. En las máquinas motoras, ya sean turbinas hidráulicas o térmicas, el rodete transforma parte de la entalpía del fluido en energía mecánica en el eje. Los álabes del distribuidor conducen la corriente fluida al rodete con una velocidad adecuada en módulo y dirección, transforman parte de la energía de presión en energía cinética y, en aquellos casos en que los álabes son orientables, también permiten regular el caudal.

- **Eficiencia:** se puede utilizar en varios contextos. La eficiencia se refiere a la utilización correcta y con la menor cantidad de recursos para conseguir un objetivo o cuando se alcanza más objetivos con los mismos o menos recursos. La eficiencia en economía se puede observar de 2 maneras, la primera es la utilización de los recursos que conforman una sociedad para satisfacer las necesidades y deseos de los individuos que la conforman o, es la utilización de la cantidad mínima de recursos que se necesitan para la producción con el fin de obtener ganancias u objetivos planteados

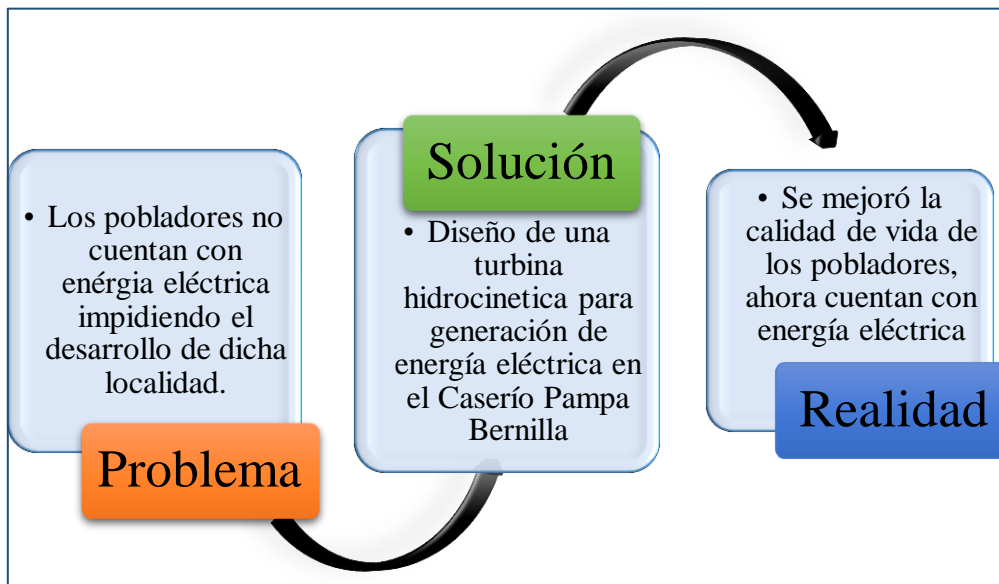
MATERIALES Y MÉTODOS.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1. Tipo y Diseño de investigación

La presente investigación desarrollada es cuasi-experimental por la que se realizó solamente en diseño más no la construcción, se determinó la eficiencia de un sistema de energía eléctrica utilizando una turbina hidrocínética para dar energía eléctrica a caseríos alejados de las ciudades. El diseño del proyecto se realizará a través de programas de modelamiento y simulaciones más no serán realizadas en tamaño y modelo real.

2.2. Métodos de investigación



2.3. Población y muestra:

2.3.1. Población:

Viviendas sin servicio eléctrico: es la población involucrada para el desarrollo del proyecto.

Tipos de generación eléctrica: posibles tipos de generación eléctrica para energizar dicha localidad.

2.3.2. Muestra

Viviendas cercanas beneficiadas: viviendas beneficiadas en la localidad.

Energía Hidrocínética: tipo de generación eléctrica a través de turbinas hidrocínicas.

2.4. Hipótesis

La generación de energía eléctrica a través de una turbina hidrocínética aprovechando la energía potencial hidráulica del río Chiñama, mejorará la calidad de vida de los pobladores del caserío Pampa Bernilla.

2.5. Variables

Variables independientes: Caudal de Río - Tipo de turbina

Variables dependientes: Demanda Máxima

2.6. Operacionalización:

Variables Independiente	Dimensión	Indicadores	Sub Indicadores	Índice	Técnicas de recolección de datos	Instrumentos de recolección de información	Instrumentos de medición
Caudal de Rio - Tipo de turbina	caudal en los últimos años / eficiencia de la turbina	caudal	volumen	Lt	análisis de documentos	guías de análisis de documentos	wincha
			densidad	kg/m ³			densímetro
			velocidad	m/s ²			tacómetro
			área	m ²			wincha
		tipo de turbina	estabilidad		Observación	guías de observación	
			resistencia	μ	Observación	guías de observación	ensayo de tracción
			temperatura	°C			termómetro
			material				tablas
			peso específico	kg/l			
Variables Dependiente	Dimensión	Indicadores	Sub Indicadores	Índice	Técnicas de recolección de datos	Instrumentos de recolección de información	Instrumentos de medición
Demanda Máxima	sistema eléctrico	actividades económicas	industriales	Kw	análisis de documentos	guías de análisis de documentos	tablas de calificación eléctrica
			domesticas	Kw			
			comerciales	Kw			
		caída de tensión	distancia	Km	análisis de documento (encuesta)	guía de análisis de documento (recolección de datos)	cálculo o software de caída de tensión
			tipo de conductor	sección del conductor	mm ²	análisis de documento (encuesta)	guía de análisis de documento (recolección de datos)
		número de usuarios	beneficiados	U	análisis de documentos (entrevistas)	guía de análisis de recolección de información (cuestionario)	patrón

2.7. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

2.7.1. Métodos de recolección de datos.

- A. Analítico:** Permitió la recolección y la construcción del proyecto, permitiendo la selección de los componentes del sistema automatizado, proporcionando un diseño fiable. Pudiendo cumplir con los objetivos planteados.

- B. Sintético:** Este método se utilizó en la recopilación de información de los mecanismos y elementos mecánicos y eléctricos del sistema hidrocínético, con el fin de comprender el funcionamiento del sistema, permitiendo su construcción.

- C. Inductivo:** Este método contribuyó al diseño de la conclusión y los juicios críticos para el diseño del sistema de generación de energía eléctrica utilizando una turbina hidrocínética.

- D. Deductivo:** Ayudó a la formación de la hipótesis, investigación de leyes científicas, y las demostraciones.

2.7.2. Técnicas de recolección de datos

- A. Observación:** se midió la problemática social y económico dentro del poblador, dentro de la región, así como el impacto que ocasiona la falta de energía eléctrica en el desarrollo del Caserío. **Ver Anexo 01**

- B. Entrevista:** a través de cuestionario recolectamos datos importantes del caserío y determinar la viabilidad del proyecto o utilizar otras fuentes de energía. **Ver Anexo 03**

- C. Encuestas:** se obtuvo datos más acertados, las cuales son importantes para la investigación como: actividades económicas, caudal del río en sus diferentes estaciones, crecimiento poblacional, cuidado ambiental del lugar. **Ver Anexo 02**

- D. Recolección de datos:** acudimos la información de manuales, libros, sitios web confiables, revistas y tesis con el fin de comparar información y validar nuestras afirmaciones en el desarrollo de nuestro proyecto.

2.7.3. Instrumentos de recolección de datos

A. Guías de observación

Se llevó a cabo en diciembre de 2015, con el fin de identificar y evaluar las variables y datos muy importantes como el caudal del río, población beneficiada, ubicación de la micro-central (6.27 kW) de generación eléctrica a través de una turbina hidrocínética, etc.

B. Cuestionario

Se llevó a cabo diversas entrevistas al poblador del caserío con el fin de conocer la realidad problemática y reafirmar nuestros objetivos del proyecto con el fin de que pueda brindar una mejor calidad de vida a los pobladores del Caserío Pampa Bernilla.

C. Hoja de encuesta

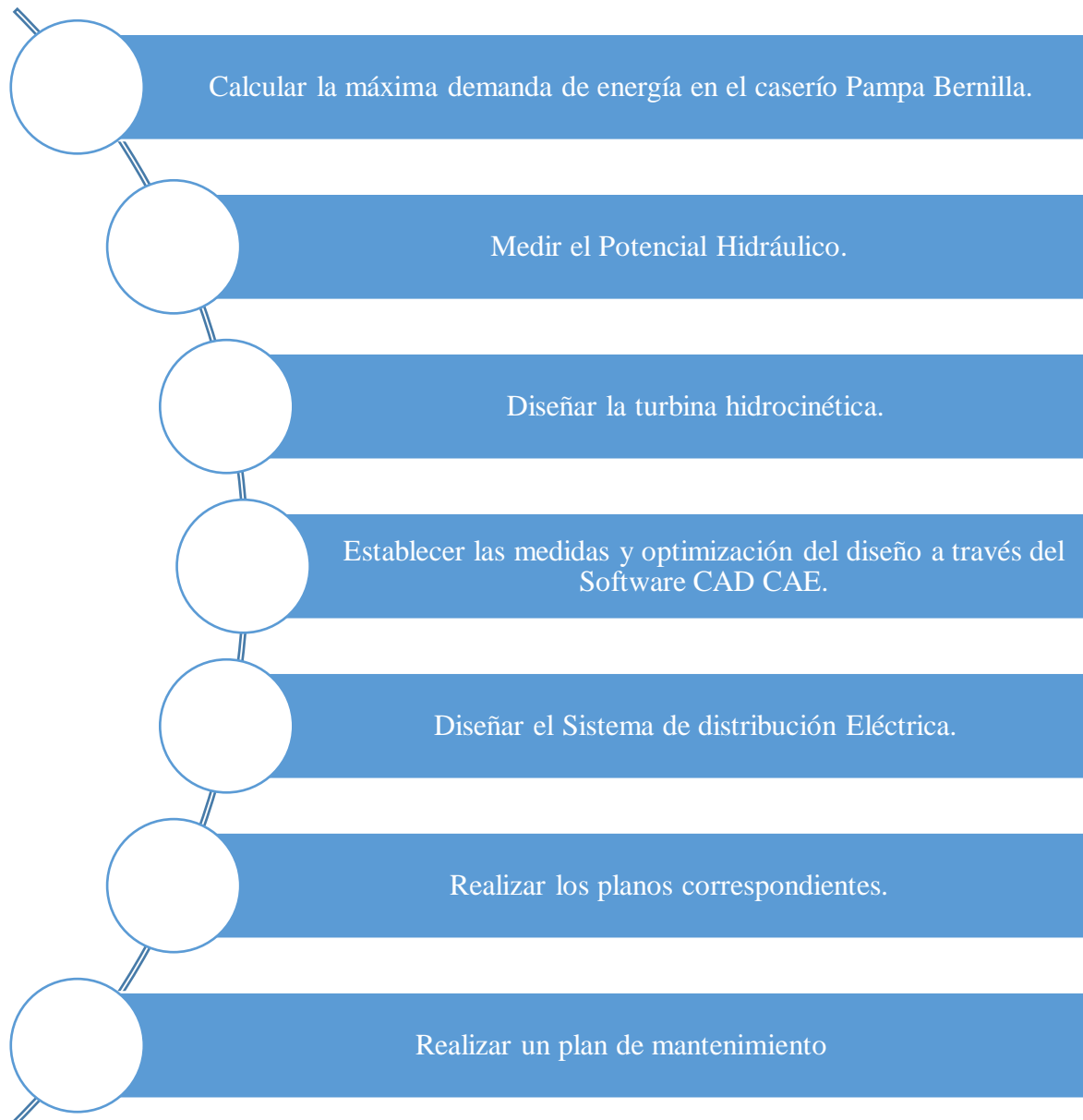
Se encuestó a los pobladores del Caserío Pampa Bernilla para determinar la realidad problemática como: falta de energía eléctrica, Centro de salud, actividades económicas, crecimiento poblacional.

D. Guía de análisis de documentos

Se revisó normas técnicas y ambientales para el uso de energías no convencionales, dadas por INDECOPI. Se consultó manuales, para facilitar la elección de los elementos de diseño (álabes, material), obteniendo un diseño confiable. Se tomaron en cuenta libros y fichas técnicas de los mecanismos a utilizar.

2.8. Procedimiento para la recolección de datos

2.8.1. Diagrama de procesos



2.8.2. Descripción de Procesos

2.8.2.1. Determinar la Demanda Máxima del Caserío Pampa Bernilla.

La finalidad de este proceso es el calcular la energía requerida por el caserío Pampa Bernilla en base al número de abonados con los que cuenta, y teniendo en cuenta la normativa vigente para el cálculo de las mismas y las metodologías.

2.8.2.2. Determinar el Caudal de Trabajo del Rio Chiñama.

Para determinar el potencial hidráulico se tomó las bases de datos históricos de los últimos años del Rio Chiñama, por lo que hemos recurrido al ministerio de energía y minas a través de su publicación Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional se obtuvo los datos más probables de caudal y varios parámetros que sirvieron para calcular la turbina hidrocínética. El caudal promedio durante todos los últimos años ha sido 8.4 m³/s en temporadas de lluvias y de 2.1 m³/s en temporada de sequía, tomando este dato como base para el diseño.

2.8.2.3. Diseñar la turbina hidrocínética.

Se calculó para el diseño de la turbina hidrocínética como la potencia cinética que permite determinar cuánto la longitud de los álabes de la turbina en este caso los resultados fueron $P_{cinética}=7.65$ kW la cual es eficiente debido a que nuestra máxima demanda es 6.27 KW, el diámetro de los álabes de 2 m, la velocidad del agua = 2.7 m/s, con una velocidad de rotación de 77.34 rpm lo que permitió seleccionar el tipo de álabes con su respectivo perfil.

2.8.2.4. Establecer las medidas y optimización del diseño a través del Software CAD CAE.

Se diseñó el sistema de generación de energía eléctrica a través del software SolidWorks en el cual se ha tenido en cuenta el material, seleccionamiento de elementos de diseño, los cálculos de diseño para poder tener un diseño conforme a lo necesario para satisfacer la demanda máxima de 6.27 kW del Caserío Pampa Bernilla.

2.8.2.5. *Diseñar el sistema de distribución Eléctrica.*

Se diseñó y replanteo un diseño de un sistema de electrificación del caserío Pampa Bernilla con el fin de llevar la energía eléctrica a cada usuario que necesita mejorar la calidad de vida, ya que ese es el objetivo de nuestro proyecto.

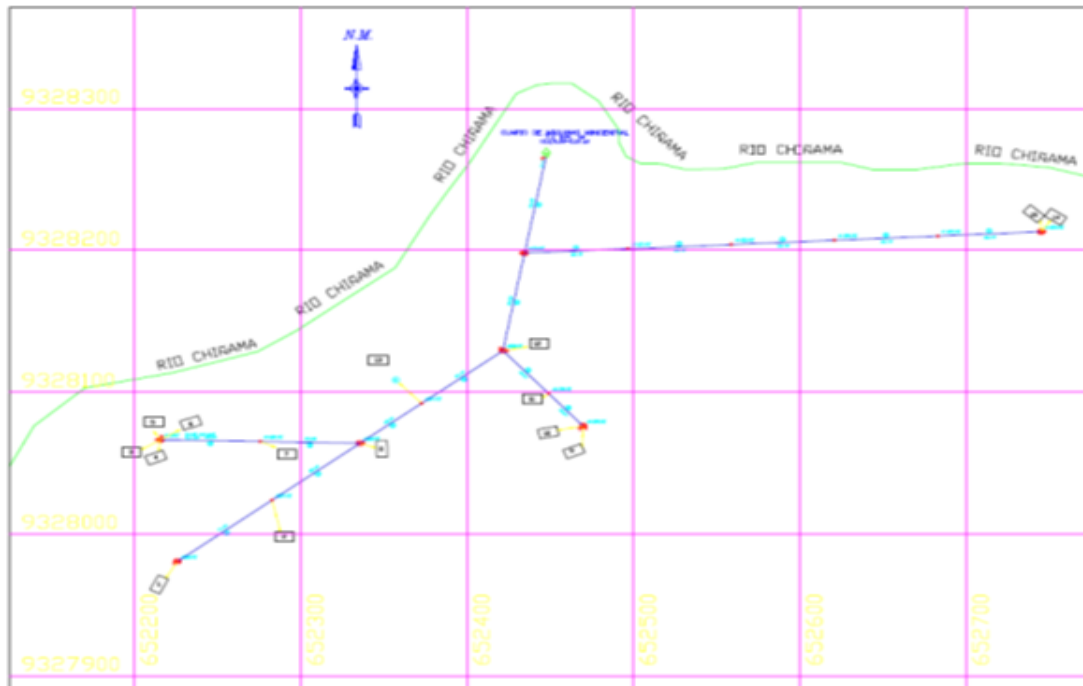


Figura 31: Sistema de distribución eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

2.8.2.6. *Realizar los planos correspondientes.*

Se realizaron los planos correspondientes al diseño del sistema de generación hidrocínético mediante el software SolidWorks que se diseñó de acuerdo a los cálculos en modelado 3D además de diseño el sistema de distribución de electrificación de acuerdo a la máxima demanda en los softwares RedCAD y Autocad.

2.8.2.7. *Realizar la evaluación económica del diseño.*

Se realizó la evaluación económica de los dispositivos mecánicos electrónicos, cumpliendo las especificaciones técnicas y ambientales correspondientes a lo que indica INDECOPI y organismos internacionales en la que el monto invertido en el

proyecto no es muy costoso por lo que sería un gran beneficio para los Caseríos aislados de la ciudad. Así como también se realizó el análisis VAN y TIR del proyecto. El monto estimado del proyecto es de S/. 69,979.11.

2.8.2.8. Realizar un plan de mantenimiento.

Se planteará un plan con las labores periódicas de mantenimiento, que se realizarán a los equipos e instalaciones, para garantizar las perfectas condiciones requeridas por el fabricante, y de esta manera prolongar el tiempo de vida y calidad durante el tiempo de servicio, el plan se detallará más adelante.

RESULTADOS.

III. RESULTADOS

3.1. Cálculo de la máxima demanda eléctrica

Se realizó el cálculo de la máxima necesidad energética del área de estudio, en base a los datos obtenidos en campo y la metodología utilizando tablas y estimaciones según corresponda a la localidad, igualmente se empleó software como Microsoft Excel para realizar los cálculos y AutoCAD para plasmar los planos de la zona a abastecer y ubicación de la turbina hidrocínética.

3.1.1. Identificación del sector típico

Según la siguiente tabla obtenida de la ley general de electrificación rural, se deduce que el tipo de sector típico al que pertenece la localidad de estudio es el sector STD5, que corresponde a las localidades rurales.

Tabla 7: Calificación de sectores de distribución típica.

SECTOR DE DISTRIBUCIÓN TÍPICO SISTEMAS ELECTRICOS RURALES (SER)

Calificados según la Ley General de Electrificación Rural (LGER)

Sector de Distribución Típico	Descripción
SDT 1	Sector de Distribución Típico Urbano de Alta Densidad
SDT 2	Sector de Distribución Típico Urbano de Media Densidad
SDT 3	Sector de Distribución Típico Urbano de Baja Densidad
SDT 4	Sector de Distribución Típico Urbano Rural
SDT 5	Sector de Distribución Típico Rural

Fuente: www.osinerming.gob.pe

3.1.2. Cálculo de la calificación eléctrica

Para obtener la calificación eléctrica de la zona, se procedió a identificar el tipo de habilitación de la zona estudiada y haciendo uso de la tabla mostrada a continuación se seleccionará el tipo de calificación eléctrica que le corresponde. El Caserío Pampa Bernilla, cuenta con un tipo de habilitación para viviendas en vías de regulación (parcial o totalmente edificadas), calificadas como centros poblados, incluyendo agrupaciones de viviendas en zonas rurales. Como se puede observar en la siguiente tabla se seleccionó, para este tipo de habilitación un suministro monofásico de 200 W por abonado.

Tabla 8: Calificación eléctrica para zonas rurales.

Tipo de habilitación	Sector de Distribución Típico 1	Sector de Distribución Típico 2	Sector de Distribución Típico 2	Sector de Distribución Típico 4	Sector de Distribución Típico 5
Habilitaciones de baja densidad poblacional, tipo 1 (Zonas R1-S y R1)	1500 + 3 W/m ² Hasta un máximo de 10 kW (suministro trifásico)	800 + 1 W/m ² Hasta un máximo de 5 kW (suministro trifásico)	-	-	-
Habilitaciones de baja densidad poblacional, tipo 2 (Zona R2)	1500	800	-	-	-
Habilitaciones de media densidad poblacional, tipo 3 (Zona R3)	1300	700	500	-	-
Habilitaciones de media densidad poblacional, tipo 4 (Zona R4)	900 (suministro monofásico)	900 (suministro monofásico)	700 (suministro monofásico)	-	-
Habilitaciones de alta densidad poblacional, para viviendas multifamiliares	11 W/m ² Del área techada total, con un mínimo de 900 W	11 W/m ² Del área techada total, con un mínimo de 700 W	-	-	-

Habilitaciones para vivienda taller (Zona I1-R)	1000	1000	1000	-	-
Habilitaciones para vivienda en vías de regularización (parcial o totalmente edificadas), calificados como Centros Poblados, incluyendo agrupaciones de vivienda en zonas rurales	700 300(*) (suministro monofásico)	300 200(*) (suministro monofásico)	250 200(*) (suministro monofásico)	250 200(*) (suministro monofásico)	200 (suministro monofásico)
Habilitaciones para vivienda en vías de regularización (parcial o totalmente edificadas), calificados como Asentamientos Humanos Marginales o Pueblos Jóvenes	700 (suministro monofásico)	400 (suministro monofásico)	300 (suministro monofásico)	300 (suministro monofásico)	250 (suministro monofásico)
Habilitaciones pre-Urbanas, tipos pecuarios o huertas (Zona P-U)	2000	1500	1500	1000	1000
Lotizaciones para la industria elemental y complementaria de apoyo a la industria de mayor escala (Zona I1)	4000	1100	-	-	-

Fuente: www.osinerming.gob.pe

3.1.3. Cálculo de la máxima demanda.

El cálculo de la máxima demanda muestra el total de energía a suministrar, en sistema monofásico y a un voltaje de 220 V en corriente alterna, según la normativa, para poder obtener el total se sumará las demandas, por conceptos de:

- Sistema particular
- Cargas especiales
- Alumbrado publico

3.1.3.1. Cálculo Sistema Particular.

Se calcula el factor de simultaneidad que afectara a toda la localidad, y en conjunto con los valores antes obtenidos se procede a calcular la máxima demanda del sistema particular.

Cálculo del factor de simultaneidad:

$$f. s = 1 - \left(\frac{\#Abonados}{120} \right)$$

Ecuación 36: Factor de simultaneidad

$$f. s = 1 - \left(\frac{15}{120} \right)$$

$$f. s = 0.875$$

Cálculo de máxima demanda particular:

$$MD_{Sist-Part} = \#Abonados \times C.E \times f.s$$

Ecuación 37: Máxima demanda particular.

$$MD_{Sist-Part} = 15 \times 200W \times 0.875$$

$$MD_{Sist-Part} = 2.625 KW$$

3.1.3.2. Cálculo Cargas Especiales.

Las cargas especiales engloban lo que son entidades públicas o de una función especial, ya sean colegios, hospitales, postas, bibliotecas, iglesias, etc. En el caso del caserío Pampa Bernilla se encuentran las siguientes cargas especiales:

- Local Comunal : 300 W

$$MD_{Car-Esp} = \frac{300}{1000}$$

Ecuación 38: Máxima demanda cargas especiales.

$$MD_{Car-Esp} = 0.3 KW$$

3.1.3.3. Cálculo Alumbrado Público.

El alumbrado público constituye una máxima demanda a parte que se tiene que calcular siguiendo un proceso mostrado a continuación:

Paso 1: Selección del factor KALP, que se relación con el sector típico de distribución al cual pertenece la localidad, para el caso de una localidad STP 5, el valor obtenido es:

$$KALP = 4.70 \frac{KW - h}{(usuario - mes)}$$

Ecuación 39: Factor KALP.

Paso 2: Se calcula el factor CMAP, teniendo en cuenta la siguiente formula:

$$CMAP = KALP \times \#Abonados$$

Ecuación 40: Factor CMAP.

$$CMAP = 4.70 \times 15$$

$$CMAP = 70.5 KWh$$

Paso 3: Selección del tipo de lámpara que se empleará para iluminar la zona, para el caso de habilitaciones rurales, se emplea lámpara de vapor de Sodio de 50 Watts de

potencia, como muestra la siguiente tabla, y para propósitos de cálculo se tomó las pérdidas producidas por la lámpara (PPL).

Tabla 9: Potencia de lámparas de vapor de sodio.

Tipo de Lámpara	Potencia [W]	Perdidas [W]	Total [W]
Vapor de Sodio	50	10	60
Vapor de Sodio	70	11.60	81.60
Vapor de Sodio	150	18.60	168.60

Fuente: www.osinerming.gob.pe.

Paso 4: Cálculo del número de puntos de Iluminación, se empleó la siguiente formula:

$$PI = \frac{CMAP \times 1000}{360 \times PPL}$$

Ecuación 41: Puntos de iluminación.

$$PI = \frac{70.5 \times 1000}{360 \times 60}$$

$$PI = 3.26 = 4$$

$$MD_{Alumbrado} = PI \times PPL$$

Ecuación 42: Máxima demanda alumbrado público.

$$MD_{Alumbrado} = 4 \times 60$$

$$MD_{Alumbrado} = 0.24 \text{ kW}$$

3.1.4. Cálculo Máxima Demanda Total.

La máxima demanda total es el resultado de la suma de las máximas demandas antes calculadas, y se aumentará en un 30 % para objeto de reserva, entonces:

$$MD_{TOTAL} = 1.3 [MD_{Alumbrado} + MD_{Sist-Part} + MD_{Car-Esp}]$$

Ecuación 43: Máxima demanda total.

$$MD_{TOTAL} = 1.3 \times [0.24 KW + 0.3KW + 2.625 KW]$$

$$MD_{TOTAL} = 1.3 \times [3.165 KW] = 4.1145 KW$$

3.1.5. Proyección de máxima demanda

La máxima demanda obtenida se refiere a la máxima demanda actual, teniendo en cuenta que el tiempo de funcionamiento de una instalación de turbina hidrocinética se proyecta 20 años. Se realizó el cálculo de la máxima demanda proyecta hacia 20 años con el fin de tener una idea del dimensionamiento que se tendrá en el futuro y los componentes a agregar de ser necesario para satisfacer la demanda. Para proyectar la máxima demanda, se usó la tasa de crecimiento de consumo eléctrico, la cual asume un valor entre 1 – 1.5, para habilitaciones de tipo II [áreas rurales].

Tabla 10: Tasa de crecimiento energético.

DESCRIPCIÓN	TIPO I	TIPO II
TASA DE CRECIMIENTO DE CONSUMO DE ENERGÍA	1.5 a 2 %	1 a 1.5 %

Fuente: www.osinerming.gob.pe.

Para el cálculo de la proyección de demanda se empleó la siguiente formula:

$$MD_i = MD_0 \times (1 + T_C)^{(AÑO_i - AÑO_0)}$$

Ecuación 44: Proyección de máxima demanda.

Donde:

- MD_i : Máxima demanda proyectada al año i.
 MD_0 : Máxima demanda en el año 0.
 T_C : Tasa de crecimiento para el poblado.
 $AÑO_i$: Año al cual se proyecta la demanda.
 $AÑO_0$: Año 0, del cual parte la proyección.

Se Reemplazó los datos para cada tabla, y tomando una tasa de crecimiento de 1.3 %, debido a las condiciones de la localidad, se genera la siguiente tabla:

Tabla 11: Proyección de demanda 2016 - 2037.

PROYECCIÓN (AÑOS)	POTENCIA (kW)	PROYECCIÓN (AÑOS)	POTENCIA (kW)
2016	4,1145	2027	5,50897726
2017	4,1679885	2028	5,58059396
2018	4,2930282	2029	5,65314169
2019	4,421819	2030	5,72663253
2020	4,5544736	2031	5,80107875
2021	4,6911078	2032	5,87649277
2022	4,831841	2033	5,95288718
2023	4,9767962	2034	6,03027471

2024	5,1261001	2035	6,10866829
2025	5,2798831	2036	6,18808097
2026	5,4382796	2037	6,26852603

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que el crecimiento energético de la población es de 2.15 kW, el cual representa un total del 34% de crecimiento energético. Este valor puede satisfacerse con el sobredimensionamiento del 35% calculado en la máxima demanda actual.

3.2. Potencial hidráulico.

Se recurrió al ministerio de energía y minas a través de su publicación Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional se obtuvo los datos más probables de caudal. Como podemos ver el caudal promedio durante todos los últimos años ha sido 8.4 m³/s en temporadas de lluvias y de 2.1 m³/s en temporada de sequía lo cual este dato tomamos como base para el diseño.

Tabla 12: Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional

NOMBRE DE CUENCA CODIGO	NV NC	EH EHC	EP EPC	QN QA	PP NR	AT AP	LR FF	PEND.P DD	RE CE	NP NT
ZARUMILLA 101	1	2	5	5.6	369	817.	129	1.71	6.8	18
TUMBES 102	1	2	9	17.2	422	2729.	236	2.06	6.3	28
CHIRA 103	1	18	51	71.7	550	11564.	1033	3.90	6.2	121
PIURA 104	1	30	32	28.3	377	10476.	720	5.19	2.7	102
CASCAJAL 105	1	0	4	2.9	219	4147.	288	2.09	0.7	24
OLMOS 106	1	0	3	0.7	365	965.	91	4.50	0.7	10
MOTUPE 107	1	3	4	8.4	279	1951.	237	4.66	4.3	27
LA LECHE 108	1	3	6	9.9	584	1578.	150	6.82	6.3	19
CHANCAJ-LAMBAYEQUE 109	1	8	23	32.4	659	4906.	396	8.75	6.6	49
ZARA 110	1	7	6	9.2	514	2080.	169	6.93	4.4	19
CHAMAN 111	1	0	2	4.5	370	1248.	99	6.92	3.6	12

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas)

Tabla 13: Evaluación del Potencial Hidroeléctrico Nacional

NV	=	NUMERO DE VERTIENTE : WATERSHED NUMBER
NC	=	NUMERO DE CUENCA : RIVER BASIN NUMBER
EH	=	NUMERO TOTAL DE ESTACIONES HIDROMETRICAS : TOTAL NUMBER OF STREAMFLOW STATIONS
EHC	=	NUMERO DE ESTACIONES HIDROMETRICAS CONSIDERADAS DENTRO EL MODELO : NUMBER OF STREAMFLOW STATIONS CONSIDERED IN MODEL
EP	=	NUMERO TOTAL DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS : TOTAL NUMBER OF RAINFALL STATIONS
EPC	=	NUMERO DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS CONSIDERADAS : NUMBER OF RAINFALL STATIONS CONSIDERED
QN	=	CAUDAL NATURAL GENERADA DENTRO LA CUENCA : NATURAL FLOW GENERATED WITHIN BASIN
QA	=	CAUDAL MEDIO ESTIMADO QUE SALE LA CUENCA : ESTIMATED MEAN FLOW LEAVING BASIN
PP	=	LLUVIA PROMEDIA SOBRE LA CUENCA : MEAN RAINFALL OVER BASIN
NR	=	NUMERO DE REGIMENES CONSIDERADAS : NUMBER OF REGIMES CONSIDERED
AT	=	AREA DE LA CUENCA : BASIN AREA (KM**2)
AP	=	ALTURA PROMEDIA : MEAN ELEVATION (M)
LR	=	LONGITUD DE LOS RIOS CONSIDERADOS : TOTAL LENGTH OF RIVERS CONSIDERED
FF	=	FACTOR DE FORMA : FORM FACTOR (AT/(LR*LR))
PEND.P	=	PENDIENTE PROMEDIA : MEAN SLOPE (S)
DD	=	DENSIDAD DE DRENAJE : DRAINAGE DENSITY (LR/AT)
RE	=	RENDIMIENTO ESPECIFICO : SPECIFIC RUNOFF (L/S/KM**2)
CE	=	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO : RUNOFF COEFFICIENT
NP	=	NUMERO DE PUNTOS CONSIDERADOS : NUMBER OF POINTS CONSIDERED
NT	=	NUMERO DE TRAMOS CONSIDERADOS : NUMBER OF RIVER STAGES CONSIDERED

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas)

3.3. Cálculos de turbina hidrocínética.

Consideraciones antes del cálculo.

- Para el diseño de la turbina los perfiles establecidos son de turbinas de viento, la cual muestran el mismo comportamiento.
- Se consideran las pérdidas mecánicas, de transmisión y eléctricas (efecto joule).
- El número de palas influye en el coeficiente de potencia.

3.3.1. Área proyectada de la turbina.

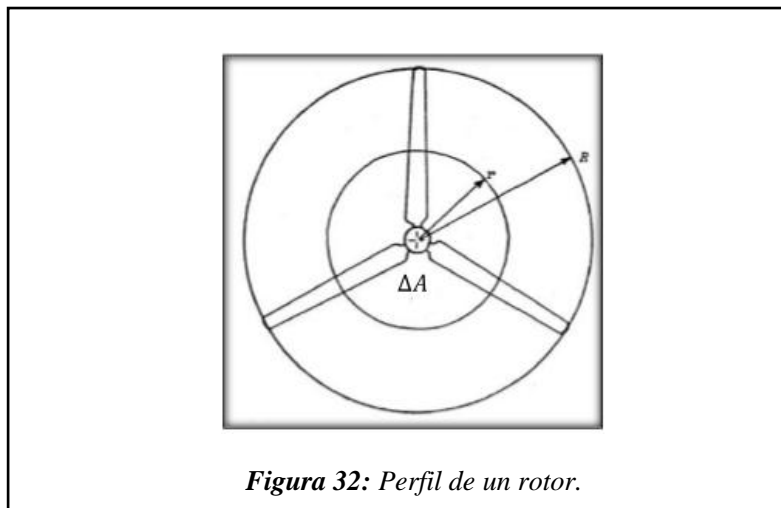


Figura 32: Perfil de un rotor.

$$A = \frac{2 * P}{\rho * V^3 * C_f}$$

Ecuación 45: Área proyectada

Dónde:

- P: Potencia requerida: 6.27 kW
- ρ : densidad del fluido: 1000Kg/m³
- C_f: corresponde al producto de las pérdidas de energía del sistema.

$$C_f = C_p * \eta_{mec} * \eta_{gen} * \eta_{trans}$$

Ecuación 46: Pérdidas total

Dónde:

- C_p: Coeficiente de Potencia.
- $\eta_{Mecánico}$: rendimiento del sistema de Transmisión Mecánico Turbina-Generador.
- $\eta_{Generador}$: rendimiento que posee el Generador.
- $\eta_{Transmisión}$: pérdida de potencia asociada a la transmisión de la corriente.

Para la cual se establece los datos:

- C_p: 0.3
- $\eta_{Mecánico}$: 0.9
- $\eta_{Generador}$: 0.85
- $\eta_{Transmisión}$: 0.9

$$C_f = 0.3 * 0.9 * 0.85 * 0.9$$

$$C_f = 0.20$$

Dónde: Velocidad de diseño es: 2.7 m/s

Distancia(10m)	Tiempo(s)
1	4.2
2	3.5
3	3.6

4	3.7
5	3.6
6	3.9
7	3.5
8	3.7

Reemplazando:

$$A = \frac{2 * P}{\rho * V^3 * C_f}$$

$$A = \frac{2 * 6.27 * 1000}{1000 * 2.7^3 * 0.2}$$

$$A = 3.18 \text{ m}^2$$

Dónde:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Ecuación 47: Diámetro.

$$D = \sqrt{\frac{4 * (3.18)}{\pi}}$$

$$D = 2 \text{ m}$$

3.3.2. Velocidad de giro del rotor.

$$N = 60 * \gamma * v / (\pi * d)$$

Ecuación 48: Velocidad de giro.

Dónde:

- V: velocidad de diseño: 2.7 m/s
- D: diámetro: 2 m
- γ : velocidad específica

Tabla 14: Velocidad específica en función de las palas.

Número de palas	Velocidad específica (γ)
16 palas	1
4 palas	2
3 palas	3-5
2 palas	7-9 o más

Fuente: Víctor Peña, Diseño de una Turbina Hidrocinética para Aprovechamiento Energético de Ríos No Caudalosos, 2013.

Por lo tanto:

$$N = 60 * \gamma * v / \pi * d$$

$$N = 60 * 3 * 2.7 / \pi * 2$$

$$N = 77.34 \text{ rpm}$$

3.3.3. Número de Reynolds.

$$N_{re} = \frac{\rho VL}{\mu}$$

Ecuación 49: Número de Reynolds.

Dónde:

- ρ : Densidad del agua (1000kg/m^3).
- μ : Viscosidad cinética (0.001003 Kg/m.s).
- V : Velocidad del fluido (2.7 m/s).
- L : Longitud ó diámetro de turbina (2 m).

Se reemplazó:

$$N_{re} = \frac{(1000)(2.7)(2)}{0.001003}$$

$$N_{re} = 5.38 \times 10^6$$

3.3.4. Fineza del perfil.

Es un indicador de perfil del ala.

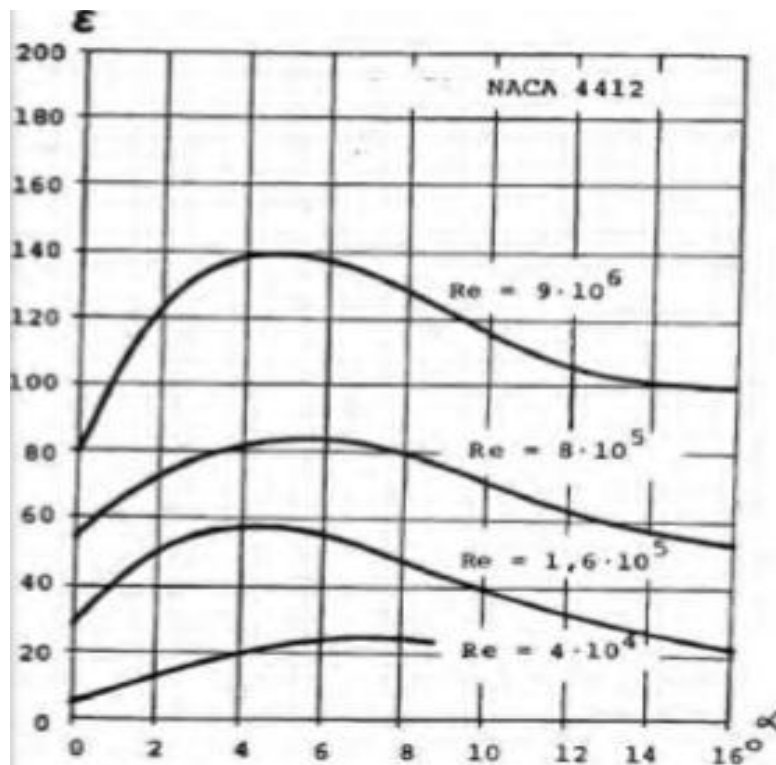


Figura 33: Fineza para diferentes ángulos de ataque y N° Reynolds.

Fuente: Víctor Peña, Diseño de una Turbina Hidrocinética para aprovechamiento Energético de ríos no caudalosos, 2013.

Tabla 15: Fineza para diferentes ángulos de ataque y N° Reynolds.

Re	A	ε
5.38x10⁶	0	80
	4	140
	6	138
	10	118
	14	100
	16	98

Fuente: *Elaboración propia*

3.3.5. Parámetros de forma de álabe

Tabla 16: Parámetros iniciales.

Número de álabes	3	
Velocidad específica	3	
Velocidad angular (nominal)	-8.09	Rad/s
	77.34	rpm
Velocidad de la corriente	2.7	m/s
Nivel de agua	0.88	m
Diámetro del rotor	2	m

Fuente: *Elaboración propia*

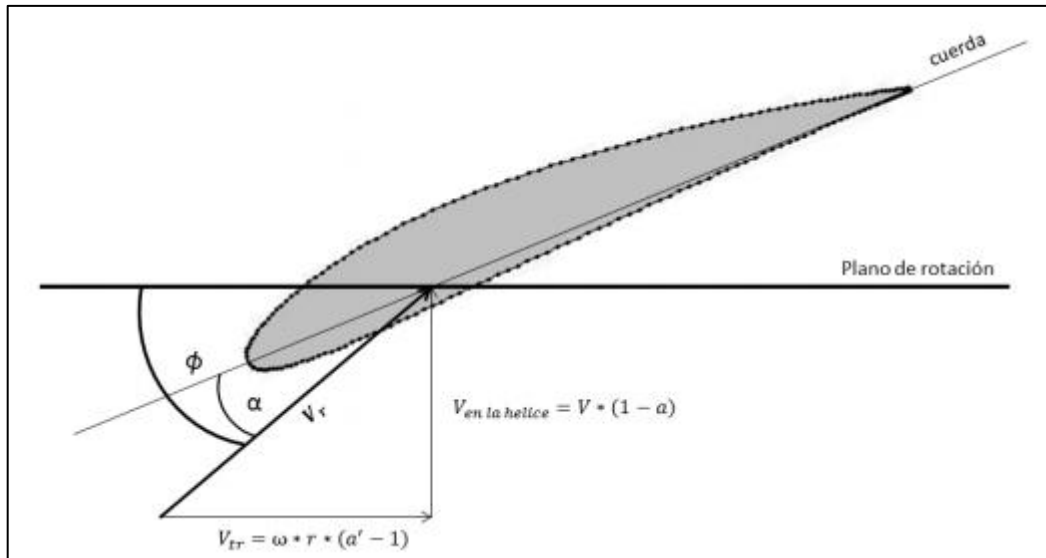


Figura 34: Perfil de ábade.

Fuente: Pre-diseño del rodete de turbinas para ríos de Chile.

3.3.6. Ángulo de la velocidad relativa (Φ)

Este ángulo se forma entre la velocidad relativa en el plano de rotación de la turbina.

$$\tan \phi = \frac{1 - \sqrt{1 + 4 * \left(\frac{V}{\omega * r}\right)^2 * a * (1 - a)}}{2 * a * \frac{V}{\omega * r}}$$

Ecuación 50: Ángulo de la velocidad relativa

Dónde: para fines de cálculo según metodología se designa

- $r = 0.3$
- $a = 0.3$

Reemplazando:

$$\tan \phi = \frac{1 - \sqrt{1 + 4 * \left(\frac{2.7}{-8.09 * 0.3}\right)^2 * 0.3 * (1 - 0.3)}}{2 * 0.3 * \frac{2.7}{-8.09 * 0.3}}$$

$$\tan \phi = 0.64$$

$$\phi = 32.61$$

3.3.7. Factor de velocidad angular

Este factor relaciona la velocidad angular del fluido en el disco y la velocidad angular del rotor:

$$a' = \frac{V * (1 - a)}{\omega * r * \tan \phi} + 1$$

Ecuación 51: Factor de velocidad angular

$$a' = \frac{2.7 * (1 - 0.3)}{-8.09 * 0.3 * \tan 32.61} + 1$$
$$a' = -0.21$$

3.3.8. Factor de pérdida en la punta

Estas pérdidas aparecen debido a las diferencias de presión que provocan los vórtices formados a la salida del álabe.

$$F = \frac{2}{\pi} * \cos^{-1}(e^{-f})$$

Ecuación 52: Factor de pérdida

Dónde:

$$f = \frac{Z}{2} * \frac{R - r}{R * \sin \phi}$$
$$f = \frac{3}{2} * \frac{1 - 0.3}{1 * \sin 32.61}$$
$$f = 1.94$$

Reemplazando:

$$F = \frac{2}{\pi} * \cos^{-1}(e^{-1.94})$$
$$F = 0.91$$

3.3.9. Potencia captada

$$P = (4 * \pi * \rho * V * \omega^2 * r^3 * \Delta r) * (1 - a)a' * F \quad (W)$$

Ecuación 53: Potencia captada

La ecuación 53, entrega la potencia captada por un anillo de espesor del disco de la turbina. Por lo tanto, ésta es la ecuación que se debe maximizar para poder captar la mayor energía posible de la corriente de un río. Los valores de V, r, Δr, ω, son dados y permanecen constantes para cada anillo, por lo tanto, es el resto de los términos de la ecuación 53 que se deben maximizar. Este factor será denominado G.

$$G = F * (1 - a) * a'$$

Reemplazando

$$G = 0.91 * (1 - 0.3) * -0.21$$

$$G = -0.133$$

Con los datos obtenidos se calcula Gmax, donde a= se incrementa 0.05, en la cual se obtiene la tabla.

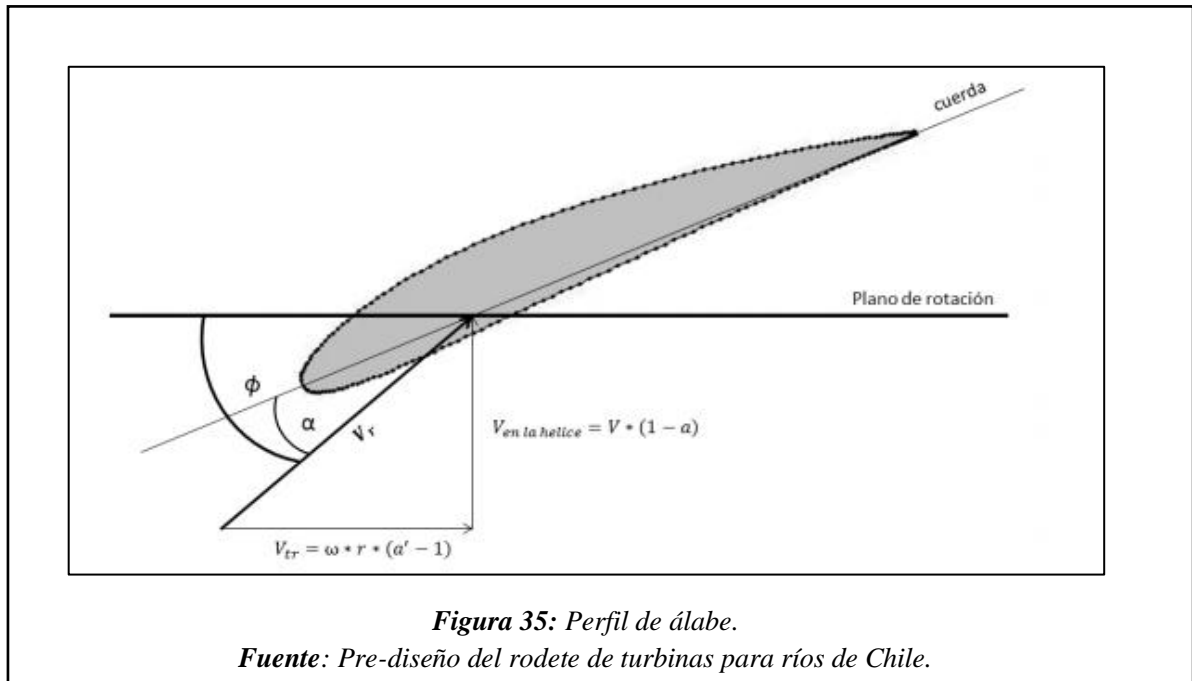
Tabla 17: Evaluación de Gmax para distintos a.

Interacción	a	tanΦ	Φ	a'	f	e-f	F	G
132	0.955	0.047649	2.7294407	-0.05062	22.0608	2.624E-10	1.000507	-0.002
		5	6		6			
133	0.96	0.042564	2.4385298	-0.045458	24.6907	1.892E-11	1.0005072	-0.002
		4	7		9			
134	0.965	0.037432	2.1448219	-0.040185	28.0699	6.447E-13	1.0005072	-0.001
		7	9		8			
135	0.97	0.032252	1.8482030	-0.034803	32.5729	7.140E-15	1.0005072	-0.001
		0	8		9			
136	0.975	0.027020	1.5485520	-0.029308	38.8739	1.309E-17	1.0005072	-0.001
		2	8		9			
137	0.98	0.021734	1.2457402	-0.023695	48.3213	1.033E-21	1.0005072	0.000
		6	8		2			
138	0.980	0.021628	1.2396508	-0.023582	48.5586	8.151E-22	1.0005072	0.000
		3	7		5			

Fuente: diseño propio

En la tabla 17 muestra para un g_{max} , se tiene un $a= 0.98$.

3.3.10. Velocidad Relativa.



La velocidad relativa corresponde a la velocidad del fluido sobre el perfil del álabes y es igual a la suma de los vectores de la velocidad de la corriente y de la velocidad tangencial del álabes.

$$Vr = \sqrt{V^2 * (1 - a)^2 + \omega^2 * r^2 * (a' - 1)^2}$$

Ecuación 54: Potencia captada

$$Vr = \sqrt{2.7^2 * (1 - 0.98)^2 + (-8.09)^2 * 1^2 * (0.023 - 1)^2}$$

$$Vr = 7.9 \text{ m/s}$$

3.3.11. Par de giro del rotor.

$$M_w = \frac{60 * P_w}{2 * \pi * n} \text{ [N.m]}$$

Ecuación 55: Par de giro del rotor.

Dónde:

- P: potencia = 6.27kW
- N: revoluciones = 77.34 rpm

Se reemplazó:

$$M_w = \frac{60 \times 6.27 \times 1000}{2 * \pi * 77.34} \text{ [N.m]}$$

$$M_w = 774.16 \text{ [N.m]}$$

3.3.12. Elección de perfil.

Tabla 18: Perfiles para turbina de viento para bajo número de Reynolds.

Perfiles aerodinámicos para:	Perfil aerodinámico.	Espesor [%]	Curvatura [%]	C_M
Pequeñas turbinas de viento.	A18	7.26	3.84	-0.080
	BW-3	5.02	5.65	-0.125
	Goe 417a	3.20	5.88	-0.110
	SD7032	9.95	3.66	-0.100
	SD7037	9.20	3.02	-0.078
	SD7062	13.98	3.97	-0.100
	SG6040	16.00	2.50	-0.090
	SG6041	10.00	2.00	-0.070
	SG6042	10.00	3.80	-0.110
	SG6043	10.00	5.50	-0.160
	USNPS-4	11.94	5.00	-0.100

Fuente: Víctor Peña, Diseño de una Turbina Hidrocinética para Aprovechamiento Energético de Ríos No Caudalosos, 2013.

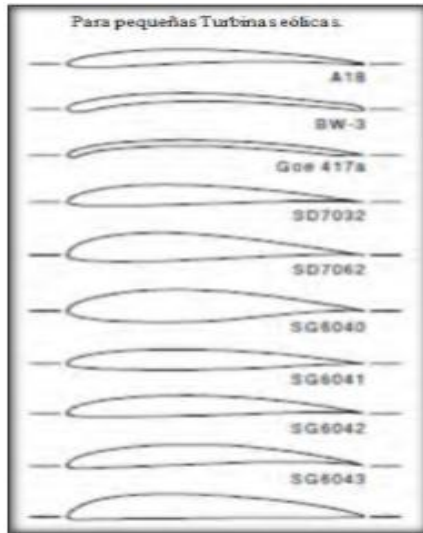


Figura 36: Perfiles para números de Reynolds bajos.

Fuente: Víctor Peña, diseño de una turbina hidrocínética para aprovechamiento Energético de ríos no caudalosos, 2013.

3.3.13. Diseño de álabes.

Se toma como referencia el modelo de Lennz, el cual está basado en el efecto venturi. El cual consiste en que un fluido en movimiento al pasar por paredes estrechas, su velocidad aumenta y su presión disminuye.

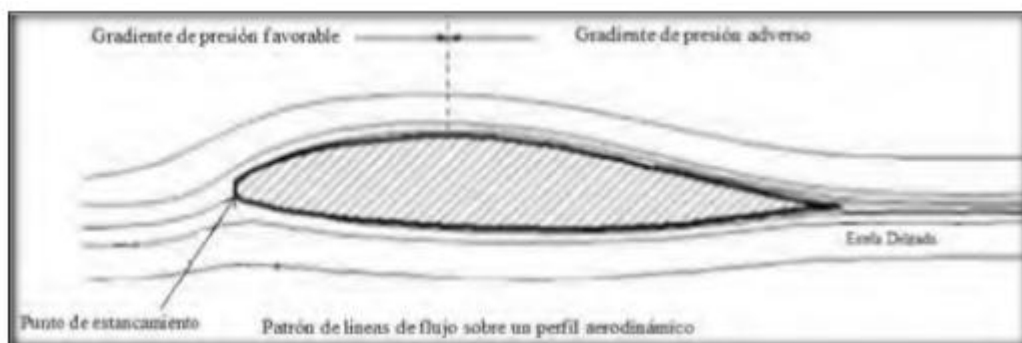


Figura 37: Gradiente de presión adverso y favorable.

Fuente: Víctor Peña, diseño de una turbina hidrocínética para aprovechamiento Energético de ríos no caudalosos, 2013

3.3.13.1. Ancho del ala:

$$An = D \times 0.14$$

Ecuación 56: Ancho del ala

Donde:

- D: diámetro= 2 m

Se reemplazó.

$$An = 2 \times 0.14 = 0.28 \text{ m}$$

3.3.13.2. Radio de la circunferencia:

$$Rc = D \times 0.28$$

Ecuación 57: Radio de la circunferencia.

Donde:

- D: diámetro: 2 m

Se reemplazó.

$$Rc = 2 \times 0.28$$

$$Rc = 0.56$$

3.3.14. Diseño de eje.

El eje principal sirve de unión el rotor al generador y para el diseño del eje se tiene en consideración los siguientes datos:

- Velocidad del diseño: 77.34 RPM
- Potencia de diseño: 6.27kW
- Factor de diseño: 2
- Longitud del eje: 1.2 m

Tabla 19: Acero 1020 laminado en caliente.

Propiedades Representativas de Aceros Aleados y al Carbón						
Material AISI núm.	Condición†	Resistencia última, s_u		Resistencia a la cedencia, s_y		Porcentaje de alargamiento
		ksi	MPa	ksi	MPa	
1020	Recocido	57	393	43	296	36
1020	Laminado en caliente	65	448	48	331	36
1020	Estirado en frío	75	517	64	441	20

Fuente: Mott, R

Para acero laminado en caliente según la curva, se escoge a la fatiga **$S_n=20\text{Ksi}$** .

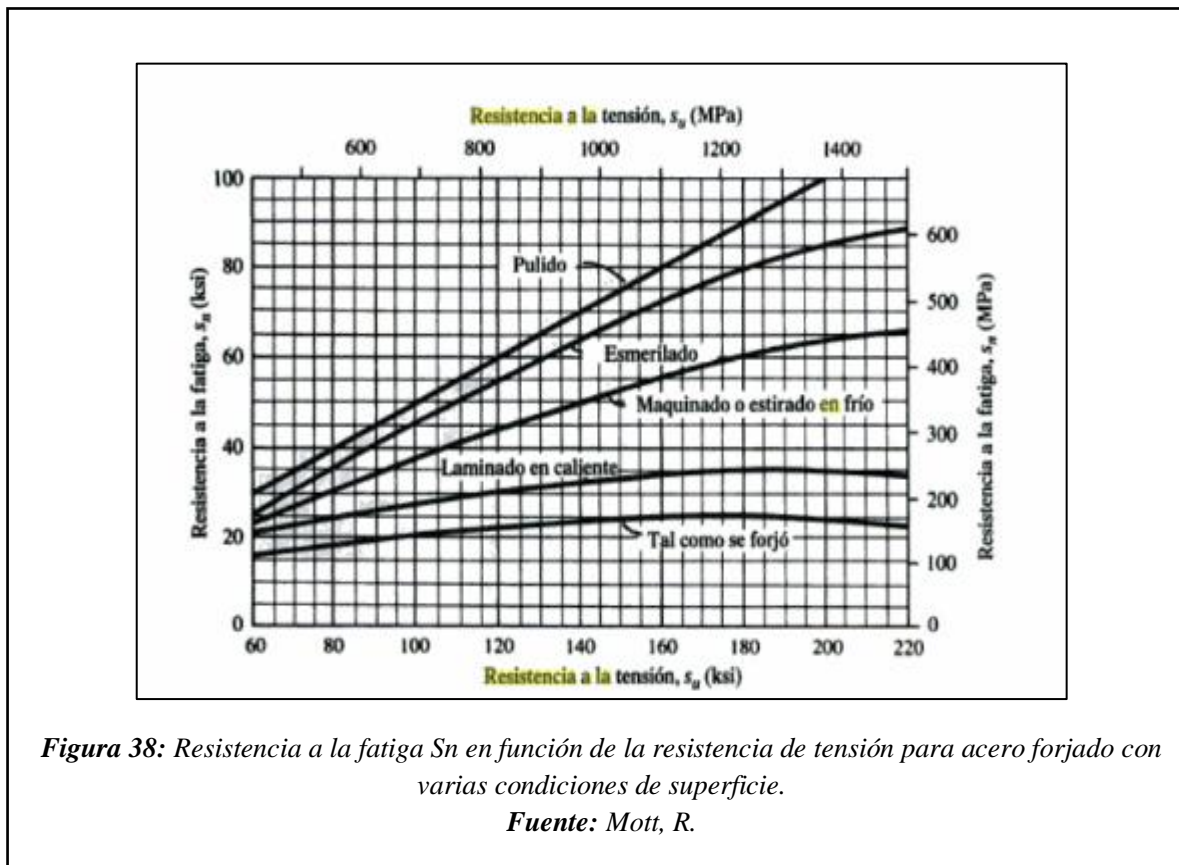


Figura 38: Resistencia a la fatiga S_n en función de la resistencia de tensión para acero forjado con varias condiciones de superficie.

Fuente: Mott, R.

Factor de confiabilidad de 0.99 por lo que $C_r: 0.81$

Tabla 20: Factor de confiabilidad.

Factores de confiabilidad aproximados C_R	
Confiabilidad deseada C_R	
0.50	1.0
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

Fuente: Mott, R

Factor por tamaño: 0.80... considerando que el diámetro del eje este en el rango $0.3 < d < 2$.

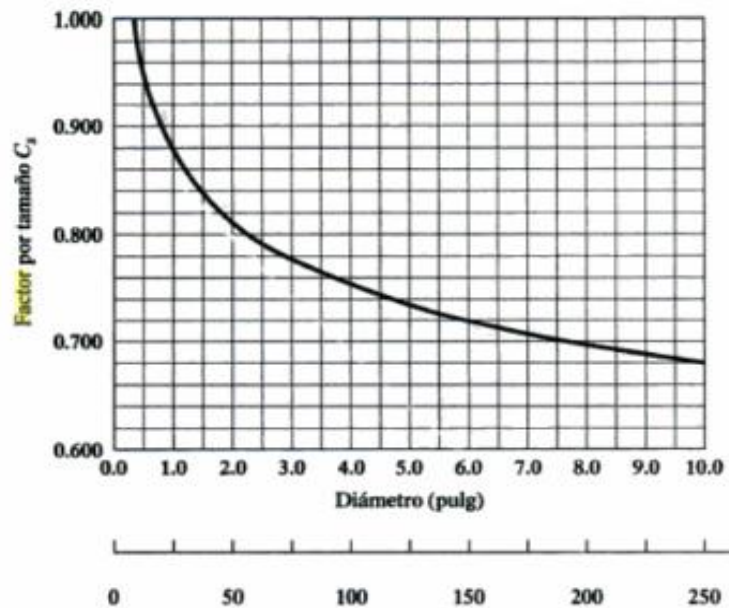


Figura 39: Factor por tamaño.

Fuente: Mott, R

3.3.14.1. La resistencia por fatiga modificada:

$$S_{n'} = S_n * C_s * C_r$$

Ecuación 58: Resistencia por fatiga modificada.

Dónde:

- S_n : resistencia a la fatiga
- C_s : factor por tamaño
- C_r : Factor de confiabilidad

$$S_{n'} = 20000 * 0.80 * 0.81$$

$$S_{n'} = 12960 \text{ psi}$$

3.3.14.2. Par torsor del eje:

$$T = \frac{6300P}{n}$$

Ecuación 59: Par torsor del eje.

Dónde:

- P: Potencia 6.27 kW = 8.41 Hp
- N: velocidad= 77.34 RPM

$$T = \frac{6300 \times 8.41}{77.34}$$

$$T = 685.06 \text{ lb/pulg}$$

3.3.14.3. Fuerza del agua:

Se considera una carga repartida a lo largo de la longitud del eje.

$$F = P \times A$$

Ecuación 60: Fuerza del Agua.

Dónde:

- P= potencia del agua.
- A= área: 3.18m²
- ρ : densidad del agua (1000kg/m³)

- V: velocidad de diseño: 2.7 m/s

$$P = 0.5 \times A \times \rho \times V^3$$

Ecuación 61: Potencia del Agua.

$$P = 0.5 \times 3.18 \times 1000 \times 2.7^3$$

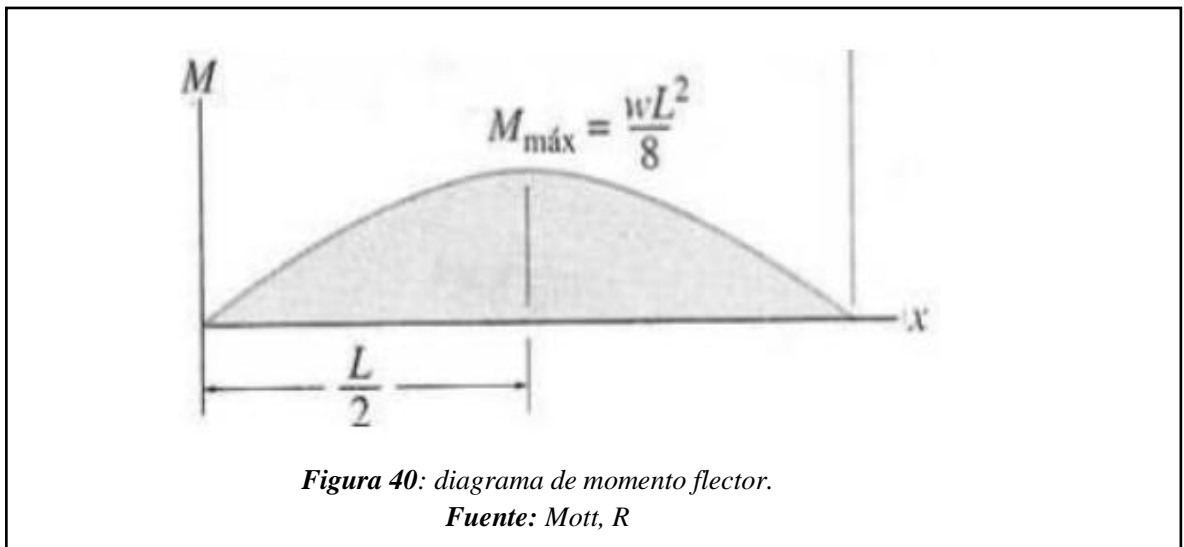
$$P = 31.29$$

Se reemplazó:

$$F = 31.29 \times 3.18$$

$$F = 99.521 \text{ KN}$$

3.3.14.4. Momento flector:



$$M = \frac{FL^2}{8}$$

Ecuación 62: Momento Flector Máximo.

$$M = \frac{99.521 \times 1.2^2}{8}$$

$$M = 17.91 \text{ kN.m}$$

$$M = 158516,93 \text{ lb} * \text{pulg}$$

Entonces:

$$D = \left(\frac{32 \cdot N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{k \cdot M}{S_n'} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right)^{1/3}$$

Ecuación 63: Diámetro del eje.

- M: momento flector.
- S_n' : Resistencia a la fatiga modificada.
- T: par torsión.
- S_y : Resistencia a la fluencia.
- N: factor de seguridad.

$$D = \left(\frac{32 * 2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{1 * 158516,93}{12960} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{685.06}{48000} \right)^2} \right)^{1/3}$$

$$D = 6.29 \text{ pulg}$$

DISCUSIÓN

IV. DISCUSIÓN

4.1. Propuesta de investigación

Para dar solución a la problemática energética que se vive en el caserío Pampa Bernilla, se propone la instalación de una microcentral hidroeléctrica que funciona a través de una turbina hidrocínética, capaz de suministrar la potencia necesaria para abastecer a los pobladores actuales de la zona la cual contara con las siguientes características.

4.1.1. Ubicación de la microcentral

Se propone ubicar la micro central lo más cercano al centro del caserío, para evitar pérdidas excesivas por caída de tensión, pero al mismo tiempo una zona alejada de la sombra generada por las casas aledañas, se seleccionó el terreno mostrado en la imagen:

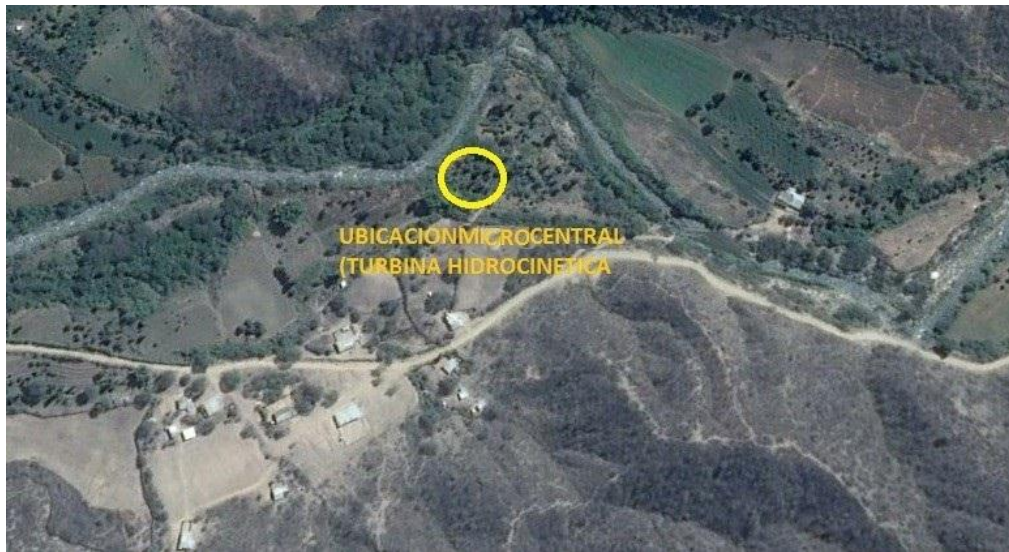


Figura 41: Ubicación de la turbina hidrocínética.

Fuente: Elaboración propia

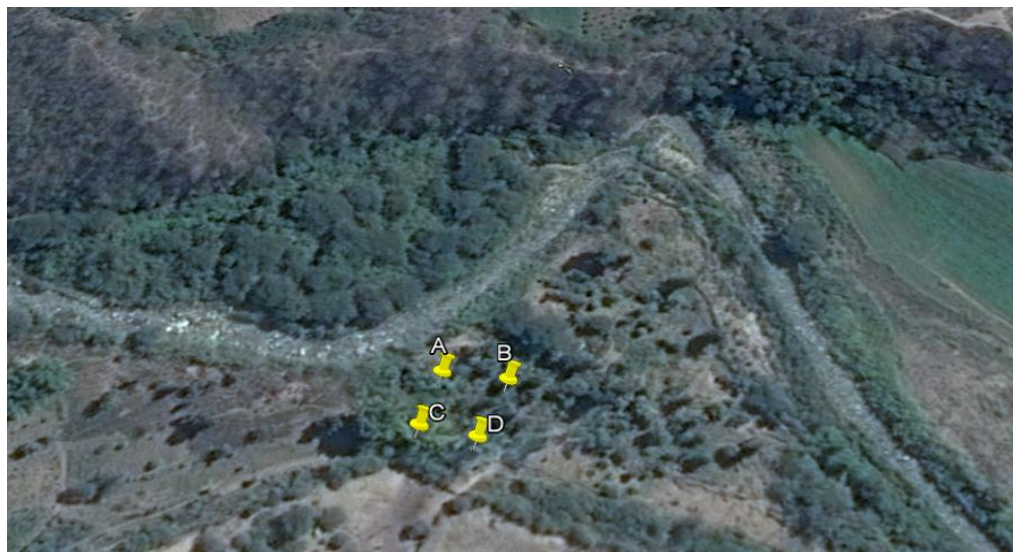


Figura 42: Ubicación topográfica de la turbina hidrocinética.

Fuente: Elaboración propia

El terreno consta de un área total de 570 m^2 , y está delimitada los puntos:

- A : 652447 E 9328268 S
- B : 652471 E 9328268 S
- C : 652444 E 9328245 S
- D : 652465 E 9328243 S

4.1.2. Topología de la instalación

La topología de las conexiones existentes en la microcentral será de la siguiente manera:

Se construyó un canal de sedimentación que va utilizar su propio desvío de 20 metros del río, la cual el canal lleva la cantidad de agua a velocidad de 2.7 m/s que se calculó para poder generar energía, dentro del canal se encontrará la turbina hidrocinética de forma horizontal al flujo de agua. Esta estará conectada al generador Dinamo O Alternador Trifásico 10kw 220/380v, 60 Hz. Thunde que se ubicaría en una base sobre una platina de acero SCH 40 entre dos muros de soporte.

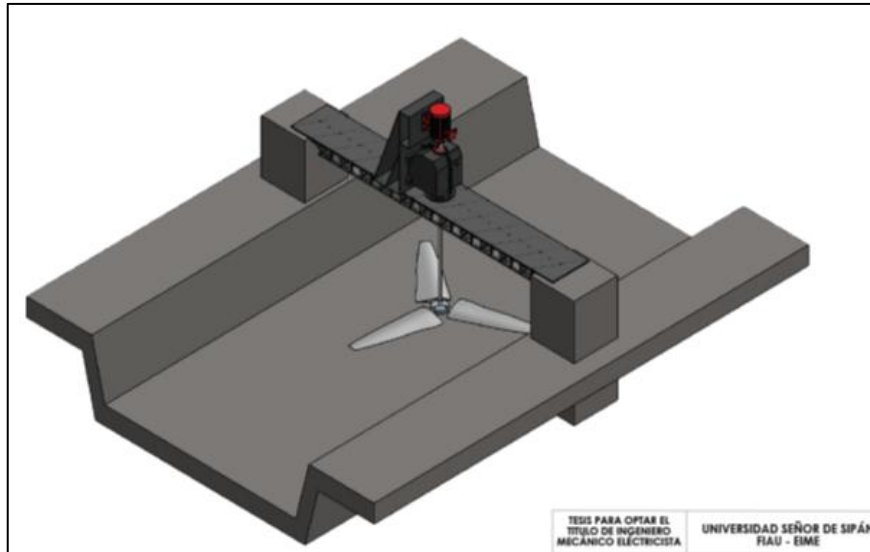


Figura 43: Sistema de generación a través de una turbina hidrocínética.
Fuente: Elaboración propia

Los reguladores se conectarán en paralelo con su respectiva protección contra subidas de corriente con una corriente máxima de 60 Amperios, la conexión continuará a un sistema de protección eléctrico que conectando antes de la entrada un fusible contra las sobre corrientes con una capacidad de 100 Amperios, y finalmente se conectará la micro red, para abastecer a los abonados, el esquema de conexiones es el que se muestra a continuación:

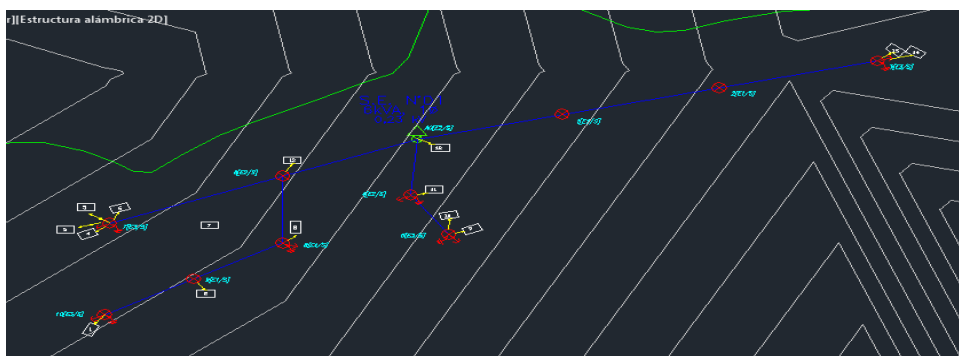


Figura 44: Sistema de distribución
Fuente: Elaboración propia

4.2. Estudio de rentabilidad

Análisis de la rentabilidad y el periodo de recuperación de la inversión, guiándose de los valores VAN y TIR.

4.2.1. Presupuesto.

Tabla 18: Presupuesto de equipos microcentral hidroeléctrica (turbina hidrocínética).

CANTIDAD	UNIDADES	DESCRIPCION	PRECIO	PRECIO TOTAL
INFRAESTRUCTURA				S/. 20,000.00
1	Unidad	Adquisición y equipamiento del terreno(canal y muro de soporte)	S/. 20,000.00	S/. 20,000.00
MODULO DE GENERACION				S/. 12, 650.00
1	Unidad	TURBINA HIDROCINETICA	S/. 5 000.00	S/. 5 000.00
1	Unidad	GENERADOR ALTERNADOR THUNDER 10KW 220/360V 60 HZ	S/. 4 000.00	S/. 4 000.00
1	Unidad	EJE DE TRANSMISION DE ENERGIA	S/. 650.00	S/. 650.00
1	Unidad	CAJA REDUCTORA	S/. 3000.00	S/. 3000.00
UNIDAD DE CONTROL Y POTENCIA				S/. 10,760.00
2	Unidad	REGULADOR TRISTAR-60	S/. 480.00	S/. 960.00
1	Unidad	VICTRON 48/8000/100	S/. 9,800.00	S/. 9,800.00
PROTECCIONES				S/. 1,072.00
2	Unidad	FUSIBLES PVS – 60	S/. 100.00	S/. 200.00

1	Unidad	FUSIBLES PVS – 100	S/.	150.00	S/.	150.00
3	Unidad	PORTA FUSIBLE	S/.	45.00	S/.	135.00
1	Unidad	PUESTA A TIERRA INGESCO 25 mm	S/.	587.00	S/.	587.00
		CABLEADO Y OTROS			S/.	1,725.40
180	Metros	CABLE CONCENTRICO ZZ-F1	S/.	2.18	S/.	392.40
180	Metros	TUBERIAS PVC	S/.	1.85	S/.	333.00
1	Unidad	FERRETERIA	S/.	1,000.00	S/.	1,000.00
		TOTAL DE EQUIPOS			S/.	46,207.40
		TRANSPORTE (10)			S/.	4 320.74
		MANO DE OBRA (35%)			S/.	15 122.45
		GASTOS GENERALES (10%)			S/.	4 320.74
		IGV (18)			S/.	7 777.33
		TOTAL DE LA MINICENTRAL			S/.	69 979,11

Fuente: Elaboración propia, en base a proveedores

4.2.2. Balance económico.

4.2.2.1. Ingresos.

Los ingresos serán en su totalidad por la venta de energía generada en periodos mensuales, para esto se calculó el costo de energía en 0.7177 S/. /kw – mes, según el pliego tarifario BT5B, para la región de Motupe, Salas y Illimo según Osinerming de fecha 04 de abril 2016.

Tabla 19: Pliego Tarifario 04-04-2016 (osinergmin zonas Motupe, Salas y Illimo).

TARIFA BT5B	TARIFA CON SIMPLE MDICION DE ENERGÍA 1E		
No Residencial	Cargo Fijo mensual-lectura mensual	s./mes	4.01
	Cargo fijo mensual- lectura semestral	s./mes	2.16
	Cargo por energía activa	Ctm. s./kw.h	0.7177

Fuente: www.osinerming.gob.pe

A continuación, se muestra una tabla con los ingresos mensuales según la producción estimada.

Tabla 20: Ingresos por generación de energía eléctrica por año.

AÑOS	MÁXIMA DEMANDA KW	ENERGIA KW-H	TARIFA S/. KW-H	PAGO POR DERECHO DE ENERGIA
0				
1	6.2	16293.6	0.7177	11693.91672
2	6.402	16824.456	0.7177	12074.91207
3	6.485	17042.58	0.7177	12231.45967
4	6.57	17265.96	0.7177	12391.77949
5	6.655	17489.34	0.7177	12552.09932
6	6.742	17717.976	0.7177	12716.19138
7	6.829	17946.612	0.7177	12880.28343
8	6.918	18180.504	0.7177	13048.14772
9	7.008	18417.024	0.7177	13217.89812
10	7.099	18656.172	0.7177	13389.53464
11	7.191	18897.948	0.7177	13563.05728
12	7.285	19144.98	0.7177	13740.35215
13	7.38	19394.64	0.7177	13919.53313
14	7.475	19644.3	0.7177	14098.71411
15	7.573	19901.844	0.7177	14283.55344
16	7.671	20159.388	0.7177	14468.39277
17	7.771	20422.188	0.7177	14657.00433
18	7.872	20687.616	0.7177	14847.502
19	7.974	20955.672	0.7177	15039.88579
20	8.078	21228.984	0.7177	15236.04182

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2. Egresos.

Se tendrá en cuenta los salarios del supervisor de planta y un operario encargado también del mantenimiento y limpieza; S/. 850 respectivamente, estos egresos serán en periodos mensuales, a su vez se asumirá un costo de cambio de baterías de cada 6 años incurriendo en un extra de S/. 6500 correspondientes a cambio de controlador(s/500), cambio de generador (s/.4000) y mantenimiento (s/. 2000).

4.2.2.3. Flujo de caja

Teniendo en cuenta los ingresos y egresos en la microcentral eléctrica (<10 KW) con generación de una turbina hidrocínética se presenta el siguiente cuadro con el flujo de caja durante 20 años proyectado.

Tabla 21: Flujo de caja de la microcentral proyectado a 20 años.

	0	1	2	3	4	5		
Instalación de Sistema de Generación	-							
	6997.1							
Reemplazo de Generador								
Reemplazo controlador								
Operación y Mantenimiento		-850	-850	-850	-850	-850		
TOTAL EGRESOS	-	11693.9	12074.9	12231.5	12391.8	12552.1		
	6997.1							
AHORROS		10843.9	11224.9	11381.5	11541.8	11702.1		
BENEFICIOS NETOS	-	-	-	-	-	-		
	6997.1	56135.2	44910.3	33528.8	21987.0	10284.9		
	6	7	8	9	10	11	12	13
								14
-4000							-4000	
-500							-500	
-2000	-850	-850	-850	-850	-850	-850	-2000	-850
								-850

12716.2	12880.3	13048.1	13217.9	13389.5	13563.1	13740.4	13919.5	14098.7
6216.2	12030.3	12198.1	12367.9	12539.5	12713.1	7240.4	13069.5	13248.7
-4068.8	7961.5	20159.7	32527.6	45067.1	57780.2	65020.5	78090.1	91338.8
15	16	17	18	19	20			
				-4000				
				-500				
-850	-850	-850	-2000	-850	-850			
14283.6	14468.4	14657.0	14847.5	15039.9	15236.0			
13433.6	13618.4	13807.0	8347.5	14189.9	14386.0			
104772.3	118390.7	132197.7	140545.2	154735.1	169121.1			

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. VAN [valor actual neto]

Se calculó el proyecto con una tasa (k) del 3.5% mensual, en base a los datos del Banco Central de Reserva del Perú, para un periodo de 20 años, la fórmula que nos permite encontrar el Valor Actual Neto es:

$$VAN = \sum_{t=1}^{20} \frac{\text{Flujo de caja}_t}{(1 + 3.5\%)^t} - 69\,979.1 = 0$$

Ecuación 64: Cálculo del Valor actual neto.

$$VAN_{20 \text{ años}} = s/.487455.84$$

Por lo que podemos invertir en este proyecto el plazo que nos garantiza de recuperar lo invertido es en 7 años, por lo que podemos decir a 20 años de la duración del proyecto se puede recaudar la suma de 487455.84 nuevos soles.

4.2.4. TIR [tasa interna de retorno].

La TIR puede utilizarse como indicador de la rentabilidad de un proyecto, se utiliza como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión, la fórmula para cálculo del Tasa Interna de Retorno es:

$$\sum_{t=1}^{20} \frac{\text{Flujo de caja}_t}{(1 + \text{TIR})^t} = 69\,979.1$$

Ecuación 65: Cálculo de la Tasa interna de retorno.

$$\text{TIR}_{7 \text{ años}} = 13.0\% \text{ anual}$$

Por lo que podemos invertir en este proyecto el plazo que nos garantiza de recuperar lo invertido es en 7 años a tasa de interés de 13.0% para asegurar que en el periodo del 7mo año nuestro VAN sea 0 y comenzar a producir ganancias.

4.3. Mantenimiento.

Mantenimiento de instalaciones de generación y protección conectadas a red, es necesario realizar labores tanto de mantenimiento preventivo como de mantenimiento correctivo. Estas operaciones, en algunas ocasiones, podrán ser realizadas por el propio usuario del sistema y en otras será necesaria la asistencia de un servicio técnico o personal calificado.

4.3.1. Mantenimiento Preventivo.

En este tipo de mantenimiento desarrolla inspecciones visuales de verificación en un periodo de tiempo semanal, permitiendo que los límites y condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad sean aceptables dentro de la instalación de generación. Se harán las siguientes operaciones:

- Revisión de las protecciones eléctricas.
- Revisión del estado de la turbina hidrocínética y sus conexiones.
- Revisión del estado del generador: funcionamiento, lámparas de señalizaciones, alarmas, etc.
- Revisión, reajustes y limpieza de cables y terminales, incluyendo la toma a tierra.

4.3.2. Mantenimiento Correctivo.

Dentro de este tipo de mantenimiento se deberá cumplir lo siguiente:

- Ante la solicitud del usuario o por avería grave, la visita a la instalación se hará en un plazo máximo de 2 días.
- El análisis y la elaboración del presupuesto de los trabajos y reposiciones necesarias para el correcto funcionamiento de la instalación.
- El precio anual del mantenimiento correctivo, indicando sus alcances. Podrán no estar incluidas ni la mano de obra, ni las reposiciones de los equipos necesarias más allá del periodo de garantía.
- El mantenimiento será realizado por personal técnico calificado, todo ello bajo la responsabilidad de la empresa a cargo de dicho mantenimiento.

4.3.3. Mantenimiento a Cargo del Servicio Mecánico.

El personal encargado de la inspección debe encargarse de las siguientes operaciones:

- Supervisión general, que consiste en la comprobación periódica del correcto funcionamiento de los equipos, por ejemplo: observar los indicadores del de corriente y voltaje que señalan su estado de funcionamiento, comprobar que el inversor recibe energía del campo generador e inyecta corriente alterna a la red.
- La limpieza del canal de sedimentación es un factor que aumentará la producción de energía. La limpieza también incluye la eliminación de hierbas, ramas u otros objetos que puedan proyectar bloqueos del flujo de caudal sobre la turbina hidrocínética.
- Comprobación visual del sistema de protección eléctrico, que consiste en verificar las fijaciones de la estructura tanto del soporte como del generador (aflojamiento de tuercas de la misma).
- Comunicación al servicio técnico en caso de mal funcionamiento o averías.
- Cuando el usuario de la instalación detecte una bajada o paro total de la producción de electricidad o cuando aparezcan defectos en la estructura del generador, deberá avisar al servicio técnico quien realizará un mantenimiento correctivo detectando el origen de la avería y reparándola.
- El servicio técnico también deberá realizar un mantenimiento preventivo, mediante una serie de revisiones periódicas, donde se incluirán como mínimo:

- La medición de la tensión y la intensidad de cada una de las ramas del campo generador. De esta forma determinamos fallos del generador, sistema de protección, problemas en cableado y conexiones.
- La verificación de la solidez de la estructura del campo generador, el reajuste de tornillos, el estado de protección de soportes metálicos y anclajes.
- La caracterización de la onda, frecuencia y tensión de salida en corriente directa (CD) del generador.
- La comprobación de las protecciones, los fusibles y la puesta a tierra.
- La verificación de las conexiones del cableado en la caja de conexiones.

CONCLUSIONES

V. Conclusiones.

- Se diseñó una turbina hidrocínética sumergible de 3 álabes, la cual aprovecha la mayor parte de energía proveniente del río, cuyo diseño abastece la demanda proyectada a 20 años (6.27Kw) del caserío.
- Se calculó la máxima demanda de energía proyectada a 20 años (6.27 Kw), teniendo como carga a 15 abonados domésticos y una especial.
- Según los datos registrados del Ministerio de Energía y Minas sobre la potencia Hidro-Energetico, datos del ANA y pruebas se pudo seleccionar el caudal del Río Chiñama en tiempo de sequía es de $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que este fue el punto de partida del diseño.
- Se realizó el diseño mecánico y pruebas correspondientes a esfuerzos mediante el software SolidWorks, del sistema de generación de energía (turbina hidrocínética, eje de transmisión, soportes de fijación de la turbina).
- Se diseñó el Sistema de distribución Eléctrica, desde el punto de generación hasta usuarios finales, haciendo uso de los Softwares RedCAD y Autocad, considerando la caída de tensión y uso de las normas técnicas eléctricas mencionadas en el capítulo 2.
- Se realizaron los planos en los correspondientes de la turbina hidrocínética, sistema de distribución eléctrica, ubicación del proyecto, haciendo uso del software CAD.
- Se realizó la evaluación económica VAN y TIR, a una tasa de interés de 13 %, con un VAN a 20 años de 487455.84, dando como resultado la recuperación de la inversión en 7 años.
- Se elaboró un plan de mantenimiento general para la microcentral hidrocínética, teniendo en cuenta las especificaciones de cada fabricante para los componentes del sistema de generación, esperando conseguir un correcto funcionamiento de esta.

**REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Biblioteca sobre Ingeniería Energética, Máquinas eólicas, cargas, orientación y regulación, 2000.

Bosch–Alternadores Instrucción Técnica, 2000.

Claudio Mataix – Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas, 2nd edición, 1986. Ediciones del Castillo S.A.

Dr. Albert Betz-La energía eólica y su aprovechamiento mediante molinos de viento, 1926.EditorialGöttingenVandenhoeck&Ruprecht.

Fabian Riveros Moyano- Diseño aerodinámico, estructural y determinación del sistema de fabricación de una pala en fibra de vidrio de un aerogenerador de pequeña potencia, 2010.

Francisco Maldonado Quispe, Tesis “Diseño de una turbina de río para la generación de electricidad en el distrito de Mazán-Región Loreto”, 2005.

ITD- Micro-aerogenerador IT-PE-100 para electrificación rural. 96

Manuel FranquesaVoneschen- Introducción a la teoría de las turbinas eólicas, 2009.

MAPFRE (2012). Revista N° 125: Seguridad y Medio Ambiente. Madrid: FUNDACIÓN MAPFRE

Ogata, K. (2010). Ingeniería de control moderno. (5ta edición). Madrid: Pearson educación.

Piero Perez Pantoja - Tesis Pontificia Universidad Católica del Perú - Grupo de generación Kaplan tubular para 3 kW de capacidad, 2011.

Robert C. Juvinál- Fundamentos de diseño para Ingeniería Mecánica, primera edición, 1991. Editorial Limusa S.A.

Timoshenko. Resistencia de materiales. (5ta edición). España: paraninfo

Víctor Peña, Diseño de una Turbina Hidrocinética para Aprovechamiento Energético de Ríos No Caudalosos, 2013.

ANEXOS

ANEXO N° 01

GUÍA DE OBSERVACIÓN

Situación Actual del caserío Pampa Bernilla



Anexo N°02

ENCUESTA DEL PROYECTO PARA IDENTIFICAR LA DEMANDA MÁXIMA

FORMATO DE ENCUESTA

LOCALIDAD:.....

1. UBICACIÓN

1.1. Departamento: Provincia: Distrito :

1.2. Región: 1.3. Este (utm): 1.4. Norte (utm):

1.5. Altitud: m. s. n. m. 1.6. Área localidad: km2 1.7. Temperatura Promedio:

2. POBLACION

2.1. Número Total de Viviendas de la localidad

2.2. Número Total de Habitantes..... 2.3. Número Total de Habitantes mayores de 15 años

3. COMUNICACIONES

3.1. ¿Qué medio utiliza para comunicarse con la capital de su distrito?

Camino de Herradura Río

Carretera Otro (Especifique.....)

3.2. ¿Qué distancia y qué tiempo hay entre su localidad con:

La capital del distrito : km horas

La capital de la provincia : km horas

3.3. Acceso a la localidad (desde la ciudad más próxima)

Desde	Hasta	Tiempo (Hr)	Distancia (Km)	Medio Transporte	Frecuencia
.....
.....

3.4. Su localidad cuenta con servicios de:

Tenencia Gobernación

Club de Madres Internado P.N.P. Televisión

Local Comunal Teléfono Radio

(otros)

4. SERVICIOS BÁSICOS

4.1. N° de Viviendas con piso de tierra 4.2. N° de Viviendas sin agua ni desagüe

4.3. Agua Potable : Domiciliaria Piletas

4.4. Instalaciones Sanitarias : Desagüe Letrinas

5. ENERGIA

5.1. ¿Tiene energía eléctrica? SI NO 5.2. N° de Viviendas sin servicio eléctrico

Si la tiene, indique de qué tipo: Central Hidráulica Grupo Térmico

Sistema Interconectado Panel Solar

5.3. Horas al día con energía eléctrica? Horas 5.4. N° de viviendas sin electrodomésticos

5.5. Consumo promedio de energía kw-h/mes-familia 5.6. Pago promedio S./mes-familia

5.7 Gasto equivalente de energía en velas, mecheros, combustible, carbón, etc, por familia S/.....

6. SALUD

6.1. ¿Existe Puesto o Centro de Salud en su localidad? SI NO

6.2. Si su respuesta es NO, indique el Puesto de Salud más cercano a su localidad:

Localidad donde se ubica el Puesto: Distancia:

7. EDUCACION : Indique si su localidad cuenta con:

Centro de Educación Inicial SI NO N° Alumnos

Centro de Educación Primaria SI NO N° Alumnos

Centro de Educación Secundaria SI NO N° Alumnos

Instituto Tecnológico SI NO N° Alumnos

Otros centros Especifique tipo y número de alumnos.....

8. ACTIVIDADES ECONOMICAS

8.1. Agricultura Productos principales de cultivo.....

Tierra de cultivo permanente por familia Hectáreas

Tierra de pastoreo por familia Hectáreas

Existe terrenos de Reserva Natural SI NO

Número de familias dedicadas a la agricultura:

Ingreso promedio mensual por familia: S/.

Cuanto está dispuesto a pagar por consumo de energía mensual: S/.....

La producción se destina a: Consumo Propio Venta Trueque

8.2. Ganadería Reses/familia Ovejas-Cabras/familia Auquénidos/familia

Número de familias dedicadas a la ganadería:

Ingreso promedio mensual por familia: S/.

Cuanto está dispuesto a pagar por consumo de energía mensual: S/.....

La producción se destina a: Consumo Propio Venta Trueque

8.3. Comercio Principales productos que se comercializan.....

Número de familias dedicadas al comercio:

Ingreso promedio mensual por familia: S/.

Cuanto está dispuesto a pagar por consumo de energía mensual: S/.....

La producción se destina a: Consumo Propio Venta Trueque

Anexo N°03

FORMATO DE ENTREVISTA

ENTREVISTADOR:

Apellidos y Nombres:

Ventura Falla Deivis Kelvin.

Universidad:

Universidad Señor de Sipán.

Escuela Profesional:

Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Tesis:

Diseño de una turbina hidrocínética para la generación de la energía eléctrica en el Caserío Pampa Bernilla, distrito de Salas, provincia Lambayeque

ENTREVISTADO:

Apellidos y Nombres:

Profesión:

Cargo que desempeña:

Preguntas.

1. Pregunta: ¿Cuál es su opinión acerca del crecimiento eléctrico que se da cada año en la región?
2. Pregunta: ¿Qué alternativas sugiere para mejorar la eficiencia eléctrica cubriendo la demanda mejorando la calidad, costos utilizando la energía de flujo de los ríos a través de micro centrales hidroeléctricas?
3. Pregunta: ¿Cómo ve a futuro el uso de energías renovables en comparación con la generación de energía de manera convencional con el fin de mejorar su eficiencia en calidad de vida de la región?
4. Pregunta: ¿Qué beneficios trae el uso de recursos renovables como por ejemplo la energía hidrocínética?
5. Pregunta: ¿Para usted que ventajas traerá un micro central hidroeléctrica usando una turbina Hidrocínética en el Rio Chiñama para mejorar la calidad de vida de los usuarios del Caserío Pampa Bernilla? ¿Y cuáles son sus beneficios?
6. Pregunta: ¿Cómo aprovechar los usos de energía renovables en la región Lambayeque?

7. Pregunta: ¿Qué tipo de Turbina de Río recomienda para generar energía eléctrica para pequeños caseríos de la Región Lambayeque?

8. Pregunta: ¿Qué ventajas nos presenta trabajar con la energía hídrica?

9. Pregunta: ¿Qué desventajas nos trae trabajar con energía hídrica?

10. Pregunta: ¿De qué otros tipos de energía se podría resolver esta necesidad en el Caserío Pampa Bernilla?

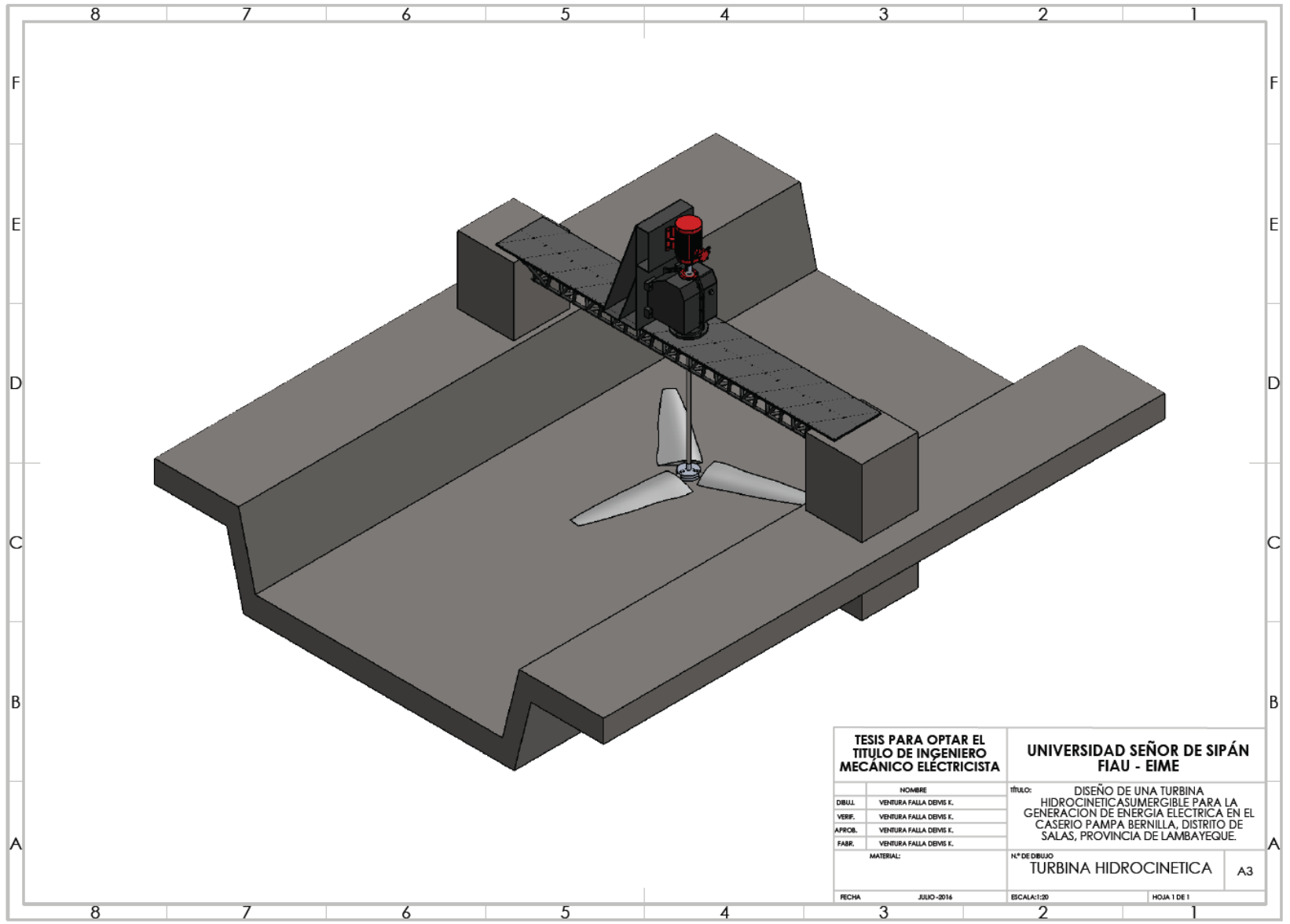
11. Pregunta: ¿Qué impacto ocasionaría en la localidad este nuevo cambio, dado a que podrán contar con suministro de energía eléctrica?

12. Pregunta: ¿Cree que el estado estaría a invertir en un este tipo de generación eléctrica para mejorar la calidad de vida de pobladores alejados que cuentan con un río de buen caudal cercano?

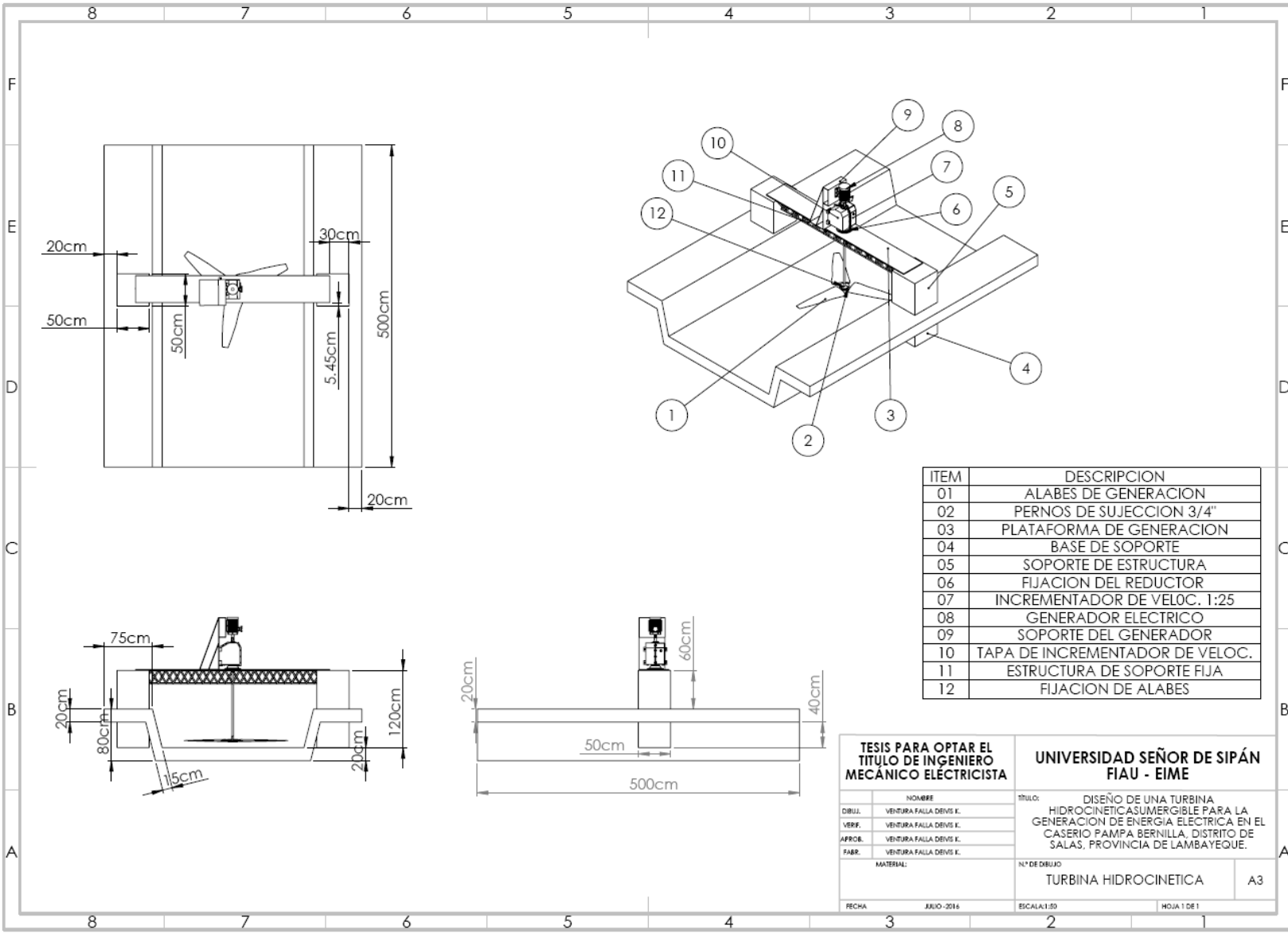
13. Pregunta: ¿Qué tipos de turbinas hidráulicas conoce? ¿Cuál cree que es más eficiente? ¿Por qué?

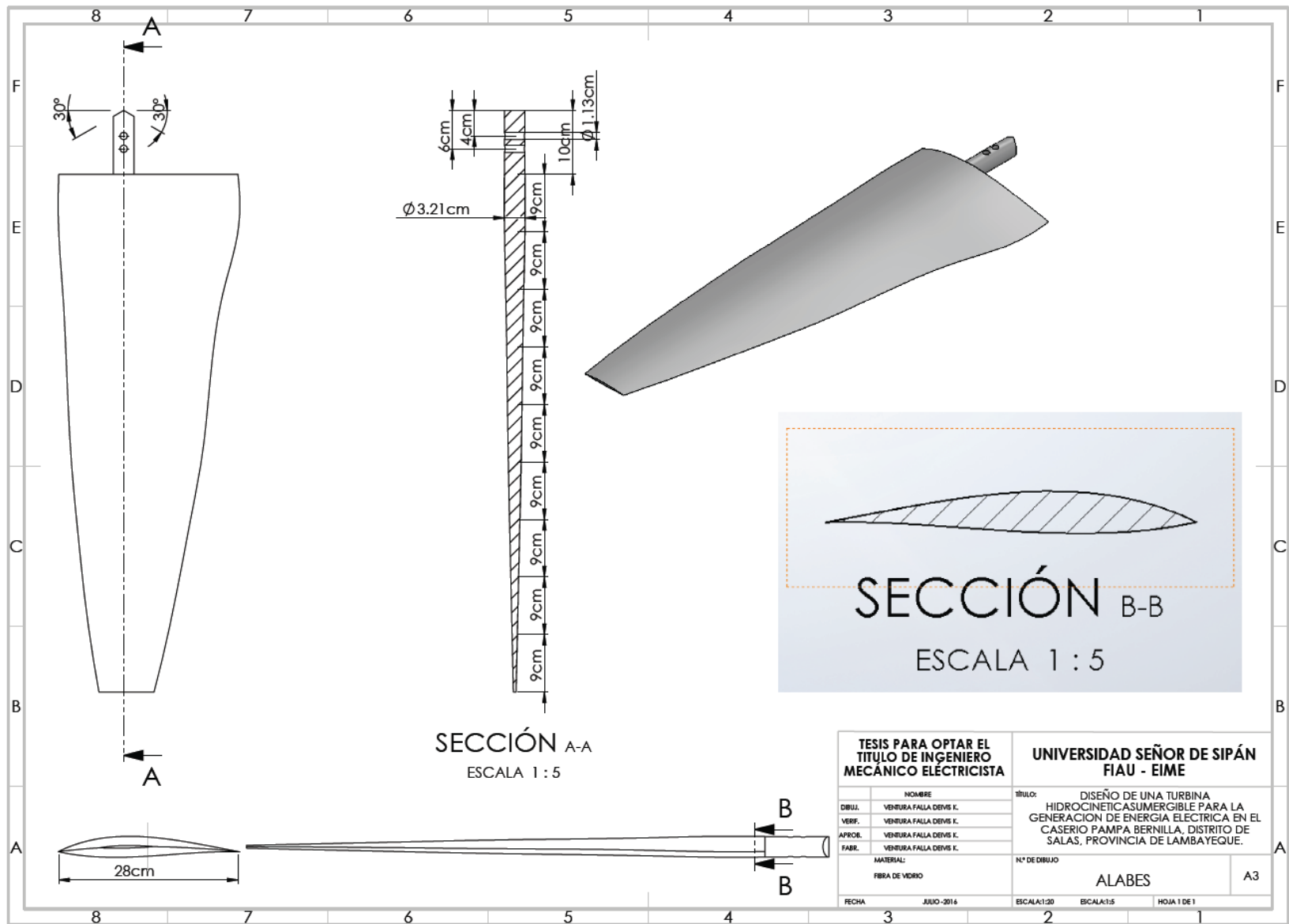
Anexo N°4

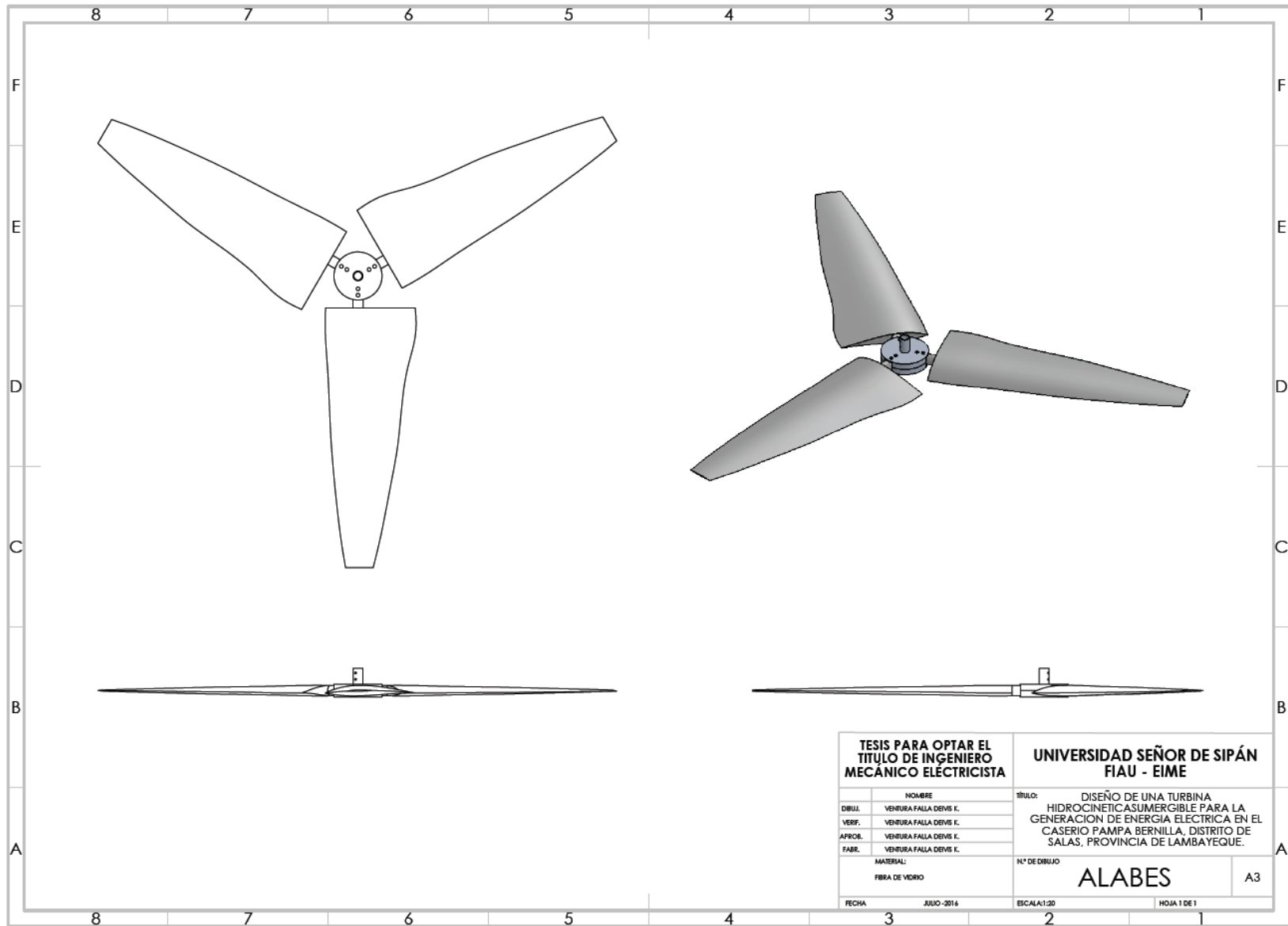
PLANOS



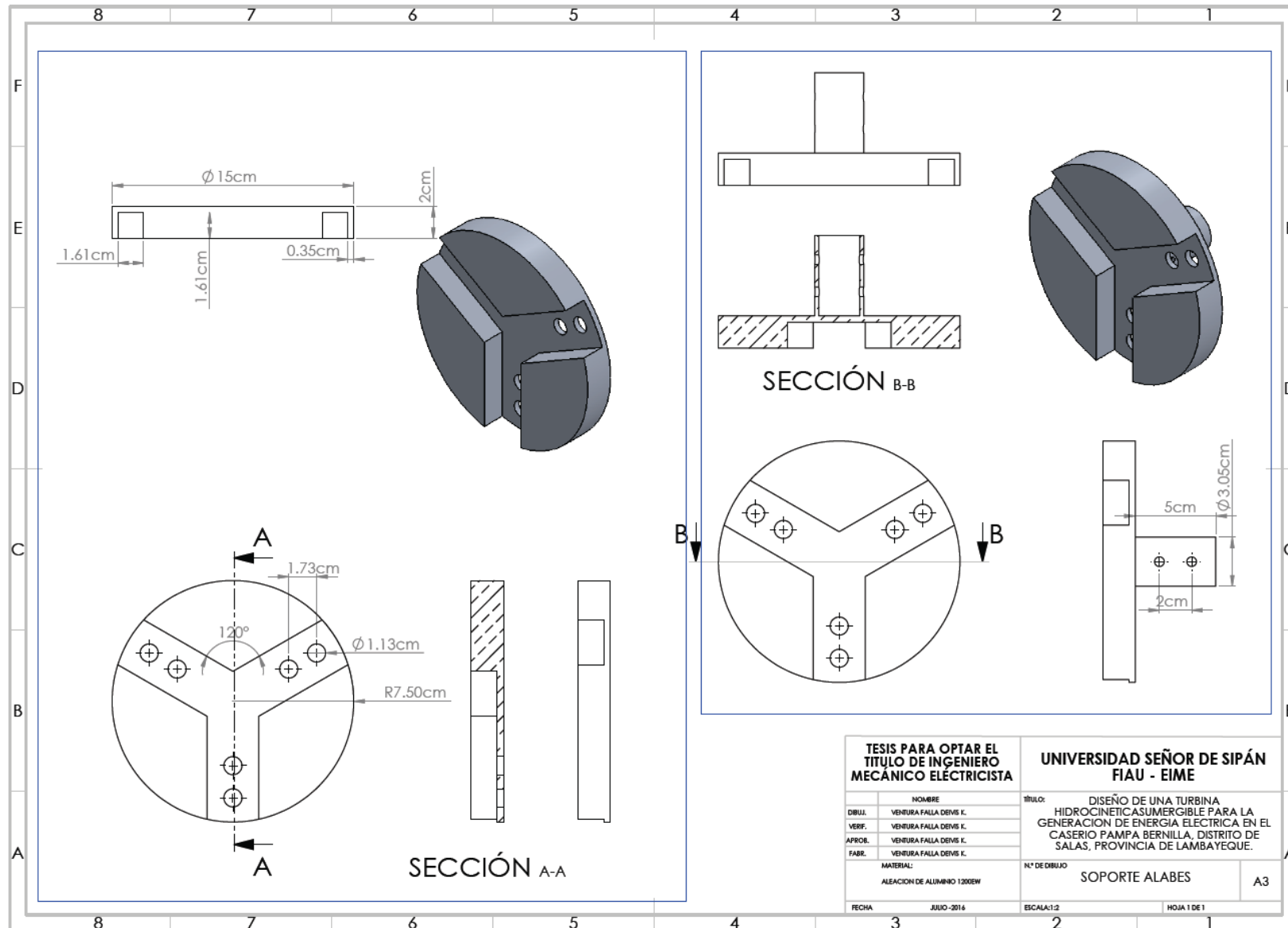
TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA		UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN FIAU - EIME		
NOMBRE		TÍTULO:		
DIBUJ.	VENURA FALLA DEVIS K.	DISEÑO DE UNA TURBINA HIDRODINAMICA SUMERGIBLE PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA EN EL CASERIO PAMPA BERNILLA, DISTRITO DE SALAS, PROVINCIA DE LAMBAYEQUE.		
VERIF.	VENURA FALLA DEVIS K.	Nº DE DIBUJO TURBINA HIDRODINAMICA		
APROB.	VENURA FALLA DEVIS K.			A3
FABR.	VENURA FALLA DEVIS K.			
MATERIAL:		Nº DE DIBUJO		
FECHA		Escala: 1:20		
JULIO-2016		HOJA 1 DE 1		



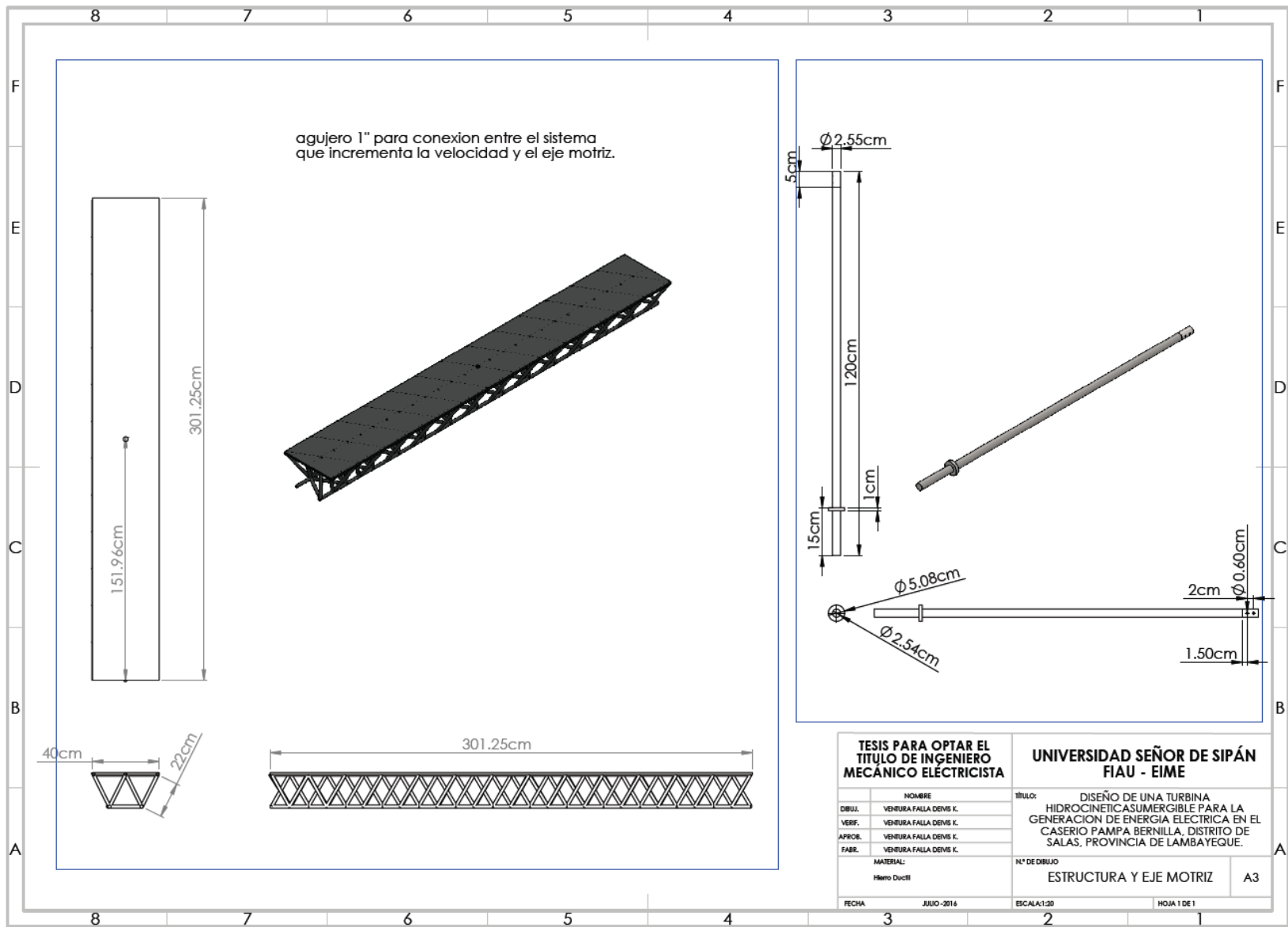




TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA		UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN FIAU - EIME	
NOMBRE		TÍTULO:	
DBUJ.	VENTURA FALLA DEVIS K.	DISEÑO DE UNA TURBINA HIDRODINAMICA SUMERGIBLE PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA EN EL CASERIO PAMPA BERNILLA, DISTRITO DE SALAS, PROVINCIA DE LAMBAYEQUE.	
VERIF.	VENTURA FALLA DEVIS K.		
APROB.	VENTURA FALLA DEVIS K.		
FABR.	VENTURA FALLA DEVIS K.		
MATERIAL:		N° DE DIBUJO	
FIBRA DE VIDRIO		ALABES	
FECHA		ESCALA: 1:20	
JULIO - 2016		HOJA 1 DE 1	



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA		UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN FIAU - EIME	
NOMBRE		TÍTULO	DISEÑO DE UNA TURBINA HIDROKINETICA SUMERGIBLE PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA EN EL CASERIO PAMPA BERNILLA, DISTRITO DE SALAS, PROVINCIA DE LAMBAYEQUE.
DIBUJ.	VENTURA FALLA DEVIS K.		
VERIF.	VENTURA FALLA DEVIS K.		
APROB.	VENTURA FALLA DEVIS K.		
FABR.	VENTURA FALLA DEVIS K.		
MATERIAL:		Nº DE DIBUJO	SOPORTE ALABES
ALEACION DE ALUMINIO 1200EW			A3
FECHA	JULIO-2016	ESCALA	1:2
			HOJA 1 DE 1



Anexo N°5

Fichas técnicas de equipos

EQUIPO DE TRASMISION ELICOIDAL 140TC/180C, 25:1

Artículo # 20JT99 Mod. Fab. # RF2070-GR607A Página de Catálogo # No Aplica UNSPSC # 28111503



Precio
\$1,941.00 / cada uno

Entrega única

Auto-Reordenar Cada 1 Meses

1

AÑADIR

+ Agregar

Confirma el Código Postal para determinar la disponibilidad.

07030

GUARDAR

☆☆☆☆☆ Escribe la primera reseña

Peso del Envío **120.0 lb**

País de Origen EE.UU. | El País de Origen está sujeto a cambios.

Nota: La disponibilidad del producto se actualiza en tiempo real y se ajusta continuamente. Se reservará tu producto cuando completes tu pedido. Más

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Artículo **Equipo de Transmisión Helicoidal**
- Tipo de Reductor de Velocidad **Cara en C**
- Orientación del Eje **Paralelo/En Línea**
- Trabajo **Estándar**
- RPM de Entrada **1750**
- RPM de Salida Nominal **39**
- Diámetro Interior **7/8"**
- Marco **140TC/180C**
- Carga Lateral **2230 lb**
- Relación Nominal **25:1**
- HP de Entrada Máx. **4-10.18**
- Torsión de Salida Máx. **7240 in/lb**
- Torsión de Salida a 1/40 HP **3600**
- Cantidad de Etapas **3**
- Rotación **Avance/Reversible**
- Montaje **Base**
- Lubricación **Klubersynth GH 6-460**
- Tipo de Sello **Doble labio**
- Cojinetes **Bola**
- Material del Piñón **acero endurecido**
- Tipo de Engranaje **Helicoidal**
- Material del Engranaje **Acero Endurecido y Rectificado**
- Material de la Carcasa **Hierro Fundido**
- Acabado **Pintado gris**
- Salida Individual/Doble/Universal **Salida Individual**
- Eje de Salida Liso/Hueco **Sólido**
- Diám. del Eje de Salida **1-5/8"**
- Altura del Eje de Salida **5-1/2"**
- Largo Total **16"**
- Normas **AGMA**



Síncrono de 120 Voltios Ac Alternador Magnético Generador de 10Kw

Precio FOB: US \$ 300-700 / Set | [Precio - Regateo](#)
 Puerto: Shanghai
 Cantidad de pedido mínima: 1 Set/s
 Capacidad de suministro: 1500 Set/s por Mes
 Condiciones de pago: L/C,T/T,Western Union,Paypal,Trade Assurance

[Contactar](#)

[Comenzar pedido seguro](#)

[Chatear con el proveedor](#)

Datos del producto

[Report Suspicious Activity](#)

Información de la compañía

Empaquetado y envío

Detos Básicos

Corriente clasificada:	AMPERIOS	Lugar del origen:	China (Continental)	Marca:	razonables y no discriminatori...
Número de Modelo:	FLD164	Voltaje clasificado:	110 V ~ 690 V	Energía clasificada:	5KW ~ 1000KW
Velocidad:	1500/1800 rpm	Tipo de la salida:	CA trifásica	Frecuencia:	50 HZ/60 HZ
Nombre del producto:	síncrono de 120 Voltios Ac Alt...	garantía:	12 Meses	Clase de aislamiento:	H
certificado:	ISO9001	Auto De Regulación de Voltaje:	SX460	HS Código:	85016100
Color:	el Requisito de clientes	Clase de protección:	IP22/IP23	alambre de cobre:	100% Essex alambre de cobre ...
factor de Powe:	0.8				

Paquete

Paquete: caso de madera contrachapada

Especificaciones

síncrono de 120 Voltios Ac Alternador Magnético Generador de 10Kw

síncrono de 120 Voltios Ac Alternador Magnético Generador de 10Kw

Detalle del producto

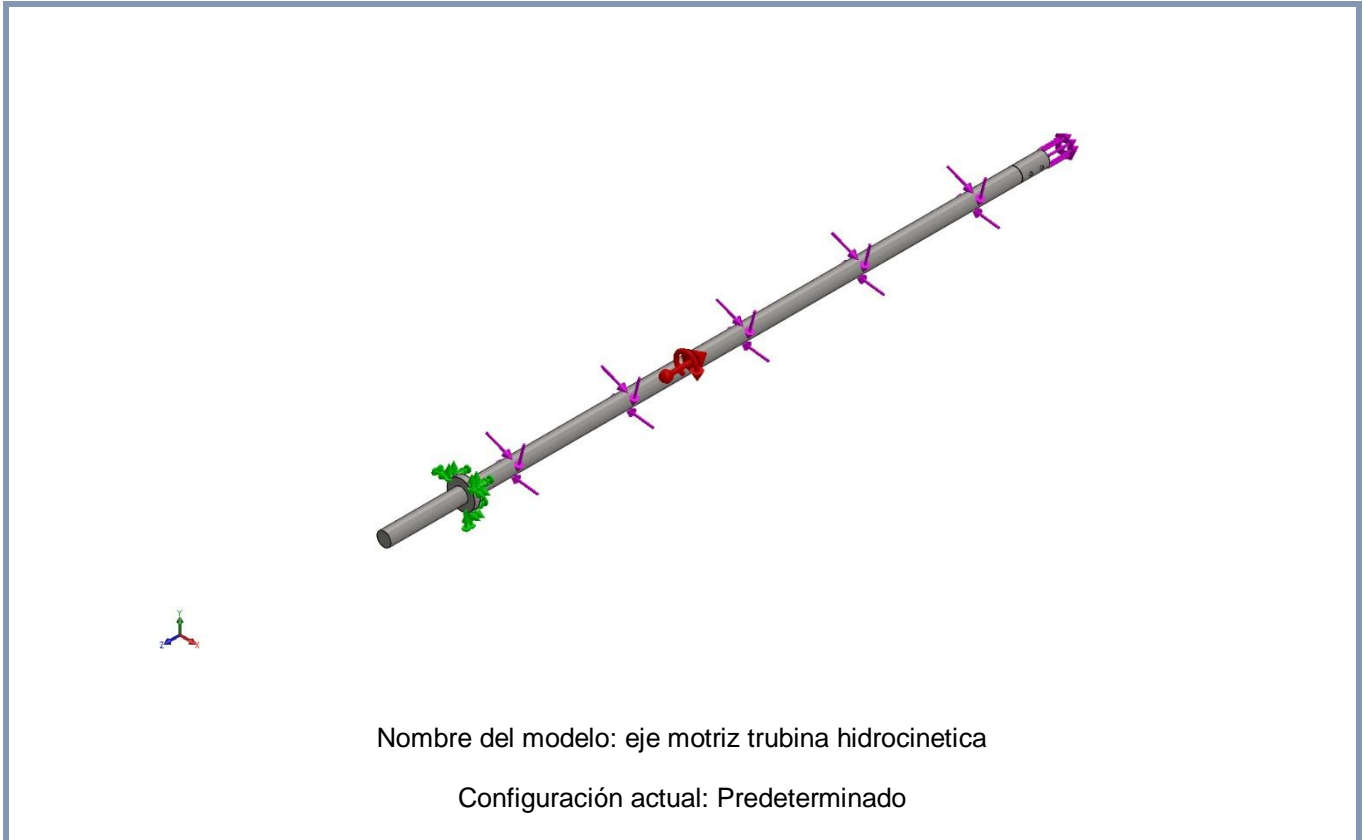
Tipo de salida	AC Trifásico
lugar de Origen	Jiangsu, China (Continental)
Número de modelo	FLD164
Nombre de la marca	razonables y no discriminatorias
HS Código	8501610000
garantía	12 meses
Clase de protección	IP23
alambre de cobre	certificado UL 200°C H aislamiento
Clase de aislamiento	H
certificación	ISO9001-2008 estándar.

Anexo N°6

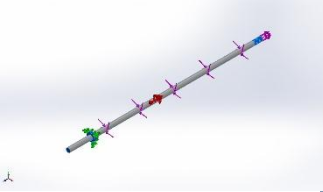
ANALISIS ESTATICO DEL EJE DE LA TURBINA



Información de modelo



Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Saliente-Extruir4 	Sólido	Masa:4.85912 kg Volumen:0.000622963 m ³ Densidad:7800 kg/m ³ Peso:47.6193 N	C:\Users\Desktop\TESIS VENTURA\DISEÑO FINAL\ eje motriz trubina hidrocinetica.SLDPRT Jul 05 20:11:38 2016

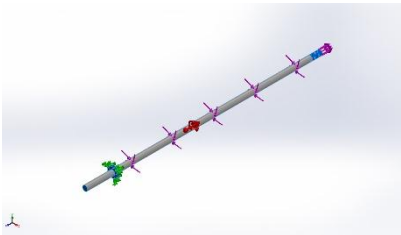
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	EJE HIDROCINETA
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\De VENTURA\DISEÑO FINAL)

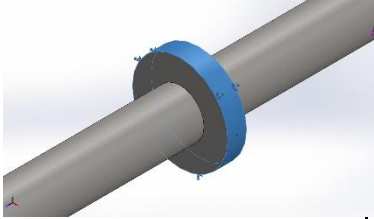
Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	Mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

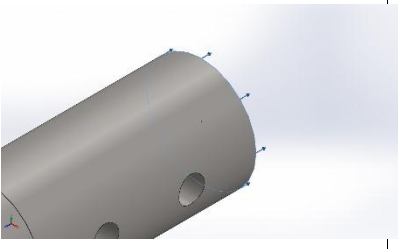
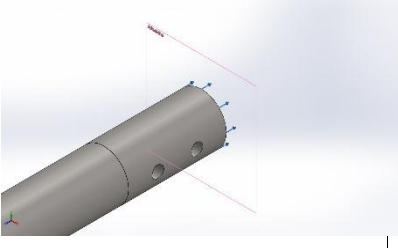
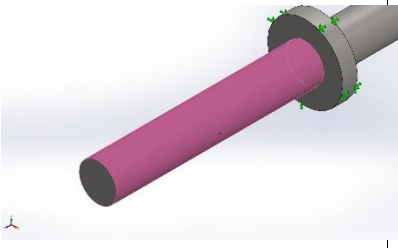
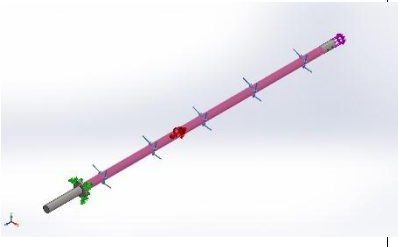
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: 1.5714 (16NiCr4)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 2.95594e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 9.00826e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2.1e+011 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.28</p> <p>Densidad: 7800 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7.9e+010 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.1e-005 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir4)(eje motriz trubina hidrocinetica)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>
Fuerzas resultantes		

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.0313311	-0.0351028	240.437	240.437
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza normal</p> <p>Valor: -192.748 N</p>
Gravedad-1		<p>Referencia: Alzado</p> <p>Valores: 0 0 -9.81</p> <p>Unidades: SI</p>
Centrífuga-1		<p>Centrífuga, Ref: Cara< 1 ></p> <p>Velocidad angular: 70 rpm</p> <p>Aceleración angular: 0 rpm^2</p>
Torsión-2		<p>Referencia: Cara< 1 ></p> <p>Tipo: Aplicar momento torsor</p> <p>Valor: 1285.99 lbf.in</p>

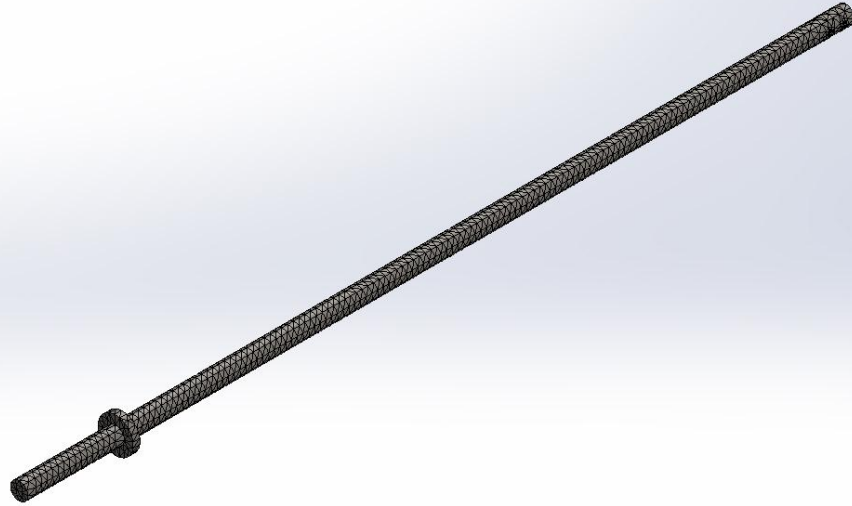
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	0.83304 cm
Tolerancia	0.041652 cm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	13661
Número total de elementos	7812
Cociente máximo de aspecto	5.533
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98.3
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: eje motriz turbina hidrodinamica
Nombre de estudio: EJE HIDROGINETAI-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla solida



Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.0313311	-0.0351028	240.437	240.437

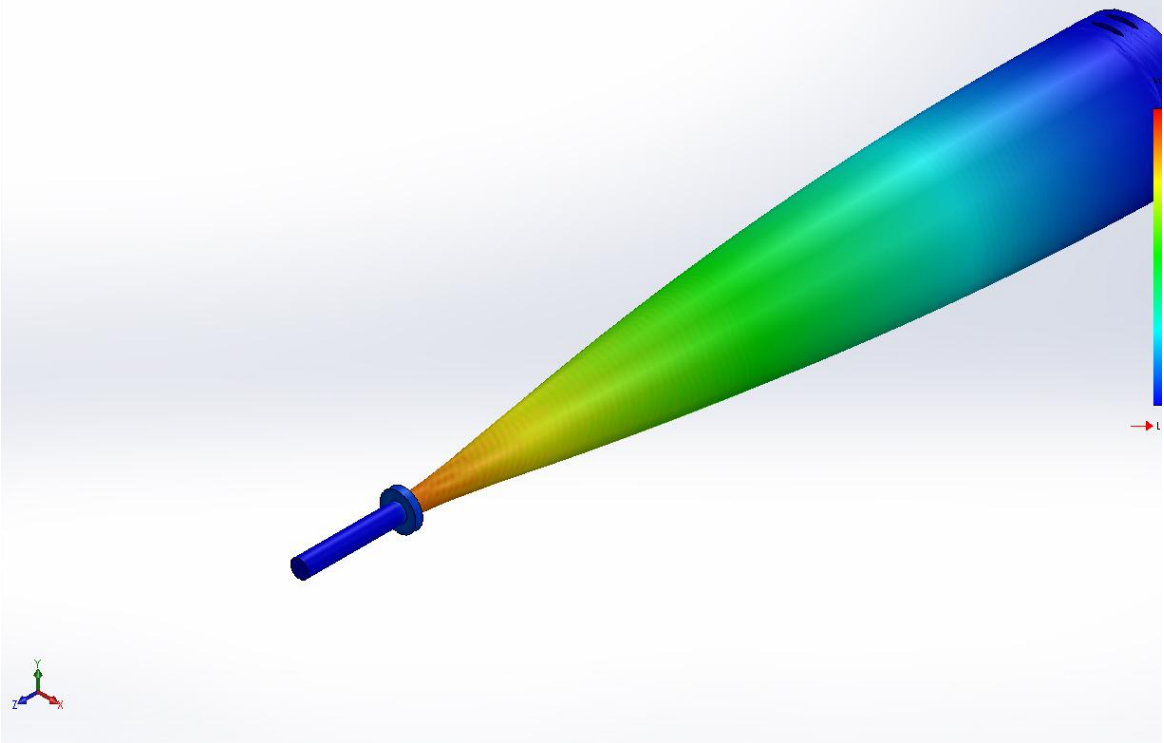
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	9.45706 N/m ²	8.82286e+007 N/m ²
		Nodo: 6584	Nodo: 9814

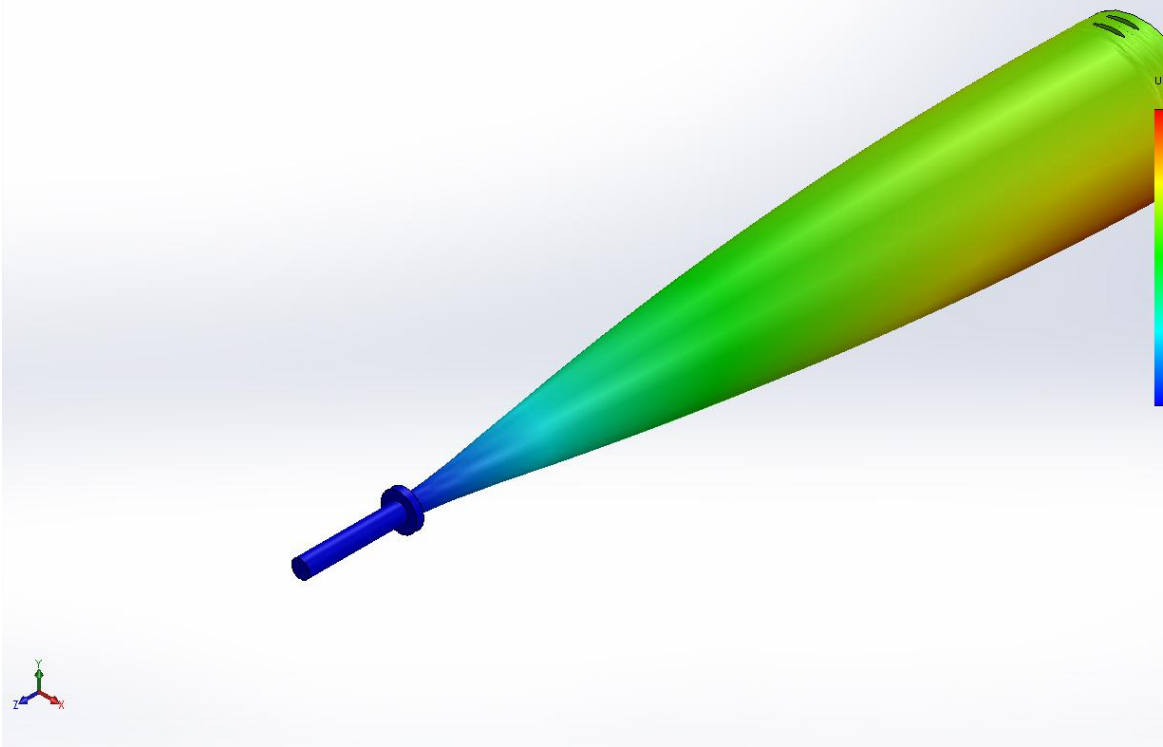
Nombre del modelo: eje motriz turbina hidrocinetica
 Nombre de estudio: EJE HIDROCINETA-Pre-determinado-1
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 346.598



eje motriz turbina hidrocinetica-EJE HIDROCINETA-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0 mm	0.3471 mm
		Nodo: 954	Nodo: 13348

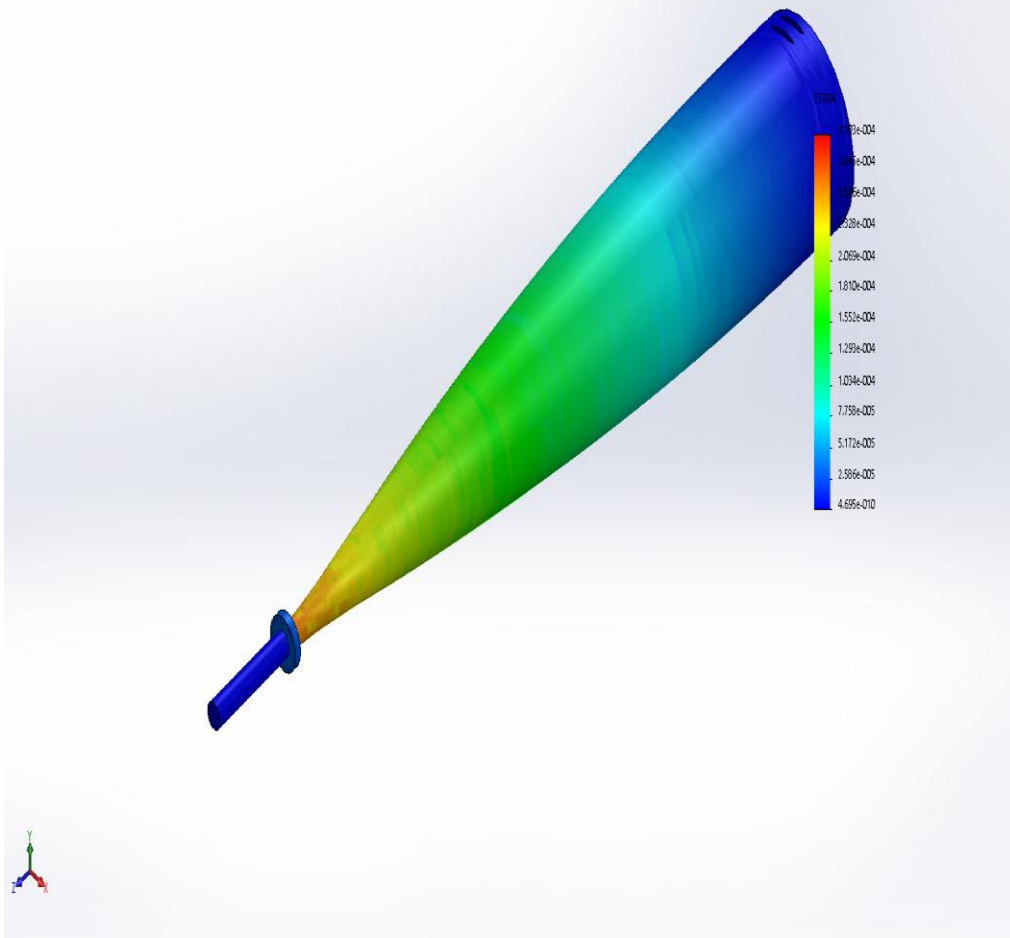
Nombre del modelo: eje motriz turbina hidrocinetica
 Nombre de estudio: EJE HIDROCINETAL-Predeterminado-J
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 346.598



eje motriz turbina hidrocinetica-EJE HIDROCINETA-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	4.69464e-010 Elemento: 6273	0.000310335 Elemento: 3244

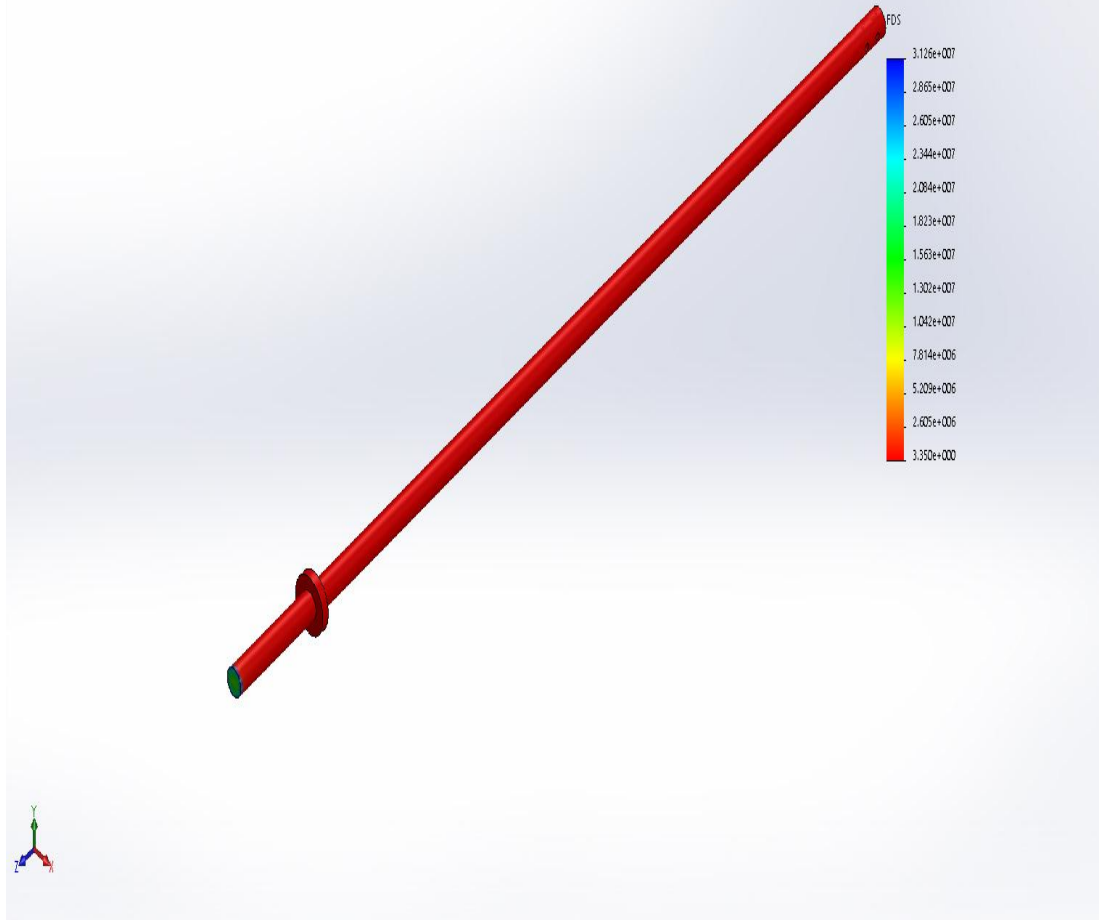
Nombre del modelo: eje motriz turbina hidrocinetica
 Nombre de estudio: EJE HIDROCINETA (Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 346.538



eje motriz turbina hidrocinetica-EJE HIDROCINETA-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	3.35032	3.12564e+007
		Nodo: 9814	Nodo: 6584

Nombre del modelo: eje motriz turbina hidrodinámica
Nombre de estudio: EJE HIDROCINETA-(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FOS min = 3.4



eje motriz turbina hidrodinámica-EJE HIDROCINETA-Factor de seguridad-Factor de seguridad1