



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA APROVECHANDO LA CAÍDA DE AGUA  
QUE EXISTE EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO EL CARRIZAL-  
CANTÓN SALCEDO PARA ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA A LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE DICHA  
ESTACIÓN.”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR:**

**BYRON MEDARDO PADILLA MACHADO**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA APROVECHANDO LA CAÍDA DE AGUA  
QUE EXISTE EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO EL CARRIZAL-  
CANTÓN SALCEDO PARA ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA A LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE DICHA  
ESTACIÓN.”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR: BYRON MEDARDO PADILLA MACHADO**

**DIRECTOR: Ing. NELSON SANTIAGO CHUQUÍN VASCO**

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Byron Medardo Padilla Machado

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Byron Medardo Padilla Machado, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 08 de Agosto de 2022






**Byron Medardo Padilla Machado**

**172430952-9**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA APROVECHANDO LA CAÍDA DE AGUA QUE EXISTE EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO EL CARRIZAL- CANTÓN SALCEDO PARA ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE DICHA ESTACIÓN**, realizado por: **BYRON MEDARDO PADILLA MACHADO** ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Viteri <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-08-08
Ing. Nelson Santiago Chuquín Vasco <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-08-08
Ing. Lidia del Rocío Castro Cepeda <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022-08-08

## **DEDICATORIA**

Mi trabajo de integración curricular la dedico con todo mi amor a ti dios que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa.

Con mucho cariño a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo papa y mama por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén conmigo a mi lado.

Byron

## **AGRADECIMIENTO**

Con mucho cariño principalmente mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo TIO LUIS MACHADO Y TIA CLARA MACHADO por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén conmigo a mi lado.

Los quiero con todo mi corazón y este trabajo que me llevo un año hacerlo es para ustedes, solamente les estoy devolviendo lo que ustedes me dieron en un principio.

A todas las personas que me apoyaron y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Gracias a mi familia quienes, a pesar de todas las dificultades me apoyaron en todo. A todas las personas que directa o indirectamente contribuyeron a mi investigación. Y a la carrera de Mecánica, por todos los conocimientos brindados.

Byron

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Antecedentes .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Delimitación.....</b>	<b>3</b>
<i>1.2.1 Delimitación espacial.....</i>	<i>3</i>
<i>1.2.2 Delimitación sectorial.....</i>	<i>3</i>
<i>1.2.3 Delimitación temporal .....</i>	<i>3</i>
<b>1.3 Formulación del problema .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Objetivos .....</b>	<b>4</b>
<i>1.4.1 Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2 Objetivos específicos .....</i>	<i>4</i>

### CAPÍTULO II

<b>2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Principio de funcionamiento de una PCH (Pequeña Centra Hidroeléctrica).....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Que es la energía hidráulica .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Tipos de pequeñas centrales hidroeléctricas.....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 Circulación del agua en conductos cerrados.....</b>	<b>10</b>
<b>2.5 Transferencia de energía en la turbo maquinarias .....</b>	<b>10</b>
<i>2.5.1 La ecuación de Euler.....</i>	<i>11</i>
<i>2.5.2 Triángulos de velocidades .....</i>	<i>15</i>
<i>2.5.3 Altura de presión y altura dinámica del rodete .....</i>	<i>16</i>
<i>2.5.4 El grado de reacción (<math>\sigma</math>) .....</i>	<i>17</i>
<i>2.5.5 Consideraciones de Diseño de Rodetes e Impulsores. ....</i>	<i>17</i>



2.6	Aplicación de la ecuación de Euler a las turbinas .....	18
2.6.1	<i>Turbinas Pelton</i> .....	18
2.6.2	<i>Turbinas Francis, Kaplan</i> .....	20
2.7	Pérdidas, potencias y rendimientos en turbinas .....	23
2.7.1	<i>Pérdidas</i> .....	23
2.7.2	<i>Potencias</i> .....	25
2.7.3	<i>Rendimientos(eficiencias)</i> .....	26
2.8	Líneas de Corriente y Patrones de Flujo.....	27
2.8.1	<i>Patrón de Flujo:</i> .....	27
2.8.2	<i>Líneas de Corriente:</i> .....	27
2.9	Regímenes de Flujo. ....	27
2.9.1	<i>Flujo Uniforme:</i> .....	27
2.9.2	<i>Flujo No Uniforme:</i> .....	28
2.9.3	<i>Flujo Estacionario:</i> .....	29
2.9.4	<i>Flujo Turbulento:</i> .....	29
2.9.5	<i>Flujo Laminar:</i> .....	30
2.9.6	<i>Reynolds</i> .....	30
2.10	Pérdida de carga por fricción.....	31
2.10.1	<i>Pérdidas en las rejillas de limpieza</i> .....	34
2.11	Demanda de energía eléctrica .....	35
2.12	Presión del agua o salto.....	37
2.12.1	<i>Medida del salto bruto</i> .....	37
2.12.2	<i>Evaluación del salto neto</i> .....	38
2.13	Cavitación en turbinas.....	38
2.14.1	<i>Cavitación</i> .....	38
2.14.2	<i>Cavitación en turbinas</i> .....	39
2.14.3	<i>Valores del coeficiente de Thoma</i> .....	41
2.14	Turbinas hidráulicas.....	42
2.14.1	<i>Clasificación de las turbomáquinas hidráulicas</i> .....	42
2.14.2	<i>Ruedas hidráulicas.</i> .....	43
2.14.3	<i>Turbinas hidráulicas</i> .....	44
2.14.4	<i>Descripción sumaria de algunos tipos de turbias hidráulicas</i> .....	47
2.15	Tipo de Generadores.....	51
2.15.1	<i>Generador de Inducción, Rotor de Jaula, Banco de Capacitores y Arrancador</i> .....	51

2.15.2	<i>Generador de Inducción, Rotor de Jaula y Convertidor de Frecuencia</i>	52
2.15.3	<i>Generador de Inducción, Rotor Bobinado y Deslizamiento Controlado</i>	52
2.15.4	<i>Generador de Inducción, Rotor Bobinado y Doble Alimentación</i>	53
2.15.5	<i>Generador de Imán Permanente</i>	54
2.15.6	<i>Generador Sincrónico, Rotor Bobinado Excitado por Convertidor de Potencia</i>	54
2.15.7	<i>Generador Sincrónico empleando dos Convertidores de Potencia</i>	55
2.15.8	<i>Generador Sincrónico de Múltiples Polos con Rotor Bobinado</i>	55
2.16	<b>Selección de turbinas</b>	55
2.16.1	<i>Criterios de selección</i>	55
2.16.2	<i>El número de revoluciones del generador (n)</i>	56
2.16.3	<i>El generador síncrono</i>	56
2.16.4	<i>El número específico de revoluciones (nS)</i>	58

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	60
3.1	<b>Metodología del diseño</b>	60
3.2	<b>Análisis técnico</b>	61
3.2.1	<i>Características Geográficas</i>	61
3.2.2.2	<i>Características de la zona del proyecto</i>	61
3.2.2.3	<i>Evaluación topográfica del terreno y de los diámetros de tubería</i>	61
3.2.2.4	<i>Diámetros de la tubería</i>	63
3.2.2.5	<i>Determinación de la altura bruta</i>	64
3.2.2.6	<i>Determinación de la altura neta</i>	65
3.2.2.7	<i>Estudio de la demanda</i>	68
3.2.2	<i>Características hidrológicas</i>	69
3.2.2.8	<i>Determinación del caudal suministrado</i>	69
3.2.3	<i>Cálculo de Potencia</i>	69
3.2.4	<i>Selección del tipo Turbina</i>	70
3.2.5	<i>Características Eléctricas</i>	71
3.2.6	<i>Selección del proveedor del conjunto turbina generado</i>	71

### CAPÍTULO IV

4.	<b>EVALUACION FINANCIERA</b>	74
4.1	<b>Monto de inversión</b>	74
4.2	<b>Valor actual neto (van)</b>	74

<b>4.2.1</b>	<b><i>Cálculos del VAN</i></b> .....	<b>75</b>
<b>4.3</b>	<b>Tasa Interna de Retorno (TIR)</b> .....	<b>76</b>
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>78</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>79</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Clasificación para pequeños aprovechamientos hidro energéticos según la Caída	9
<b>Tabla 2-2:</b>	Consideraciones en el diseño de rodets de máxima eficiencia. ....	17
<b>Tabla 3-2:</b>	Altura de rugosidad, e, para diversos tubos comerciales .....	34
<b>Tabla 4-2:</b>	Valores del coeficiente de Thoma en función del número específico de revoluciones .....	41
<b>Tabla 1-3:</b>	Tabla de diámetros y longitudes.....	63
<b>Tabla 2-3:</b>	Parámetros para el cálculo de perdidas por rejilla .....	65
<b>Tabla 3-3:</b>	Calculo del número de Reynolds del segundo tramo.....	66
<b>Tabla 4-3:</b>	Calculo del número de Reynolds del tercer tramo .....	66
<b>Tabla 5-3:</b>	Calculo del Factor de fricción del segundo tramo .....	66
<b>Tabla 6-3:</b>	Calculo del Factor de fricción del segundo tramo .....	67
<b>Tabla 7-3:</b>	Calculo de perdidas por longitud de tubería del primer tramo.....	67
<b>Tabla 8-3:</b>	Calculo de perdidas por longitud de tubería del segundo tramo.....	67
<b>Tabla 9-3:</b>	Calculo de las perdidas por accesorios .....	68
<b>Tabla 10-3:</b>	Altura Neta.....	68
<b>Tabla 11-3:</b>	Calculo del caudal de abastecimiento .....	69
<b>Tabla 12-3:</b>	Análisis de costos de las empresas cotizadas.....	72
<b>Tabla 1-4:</b>	Consideraciones para el cálculo del VAN Y TIR.....	75
<b>Tabla 2-4:</b>	Cálculo del VAN .....	75
<b>Tabla 3-4:</b>	Calculo del TIR.....	76

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b>	Proceso de conversión de energía. ....	5
<b>Ilustración 2-2:</b>	Energía hidráulica .....	6
<b>Ilustración 3-2:</b>	Tubo de aspiración .....	7
<b>Ilustración 4-2:</b>	PCH en derivación. ....	9
<b>Ilustración 5-2:</b>	Rodete de una bomba centrífuga con triángulos de velocidades en la entrada y salida de los álabes. Por simplicidad solo se muestra la mitad del rodete..	11
<b>Ilustración 6-2:</b>	Triángulos de velocidades genéricos de entrada y salida con componentes de velocidades y ángulos típicos, según normas internacionales.....	15
<b>Ilustración 7-2:</b>	Parámetros típicos en el rodete de una turbina Pelton.....	19
<b>Ilustración 8-2:</b>	Rodete de una turbina de Reacción. Nótese el sentido del flujo hacia el rodete.....	20
<b>Ilustración 9-2:</b>	Notación internacional para la ubicación de la entrada y salida de las turbinas, y de los niveles para la determinación de la altura neta. ....	21
<b>Ilustración 10-2:</b>	Caudales que circulan a través del rodete de una turbina de reacción. ....	24
<b>Ilustración 11-2:</b>	Diagrama de potencias de una turbina. ....	26
<b>Ilustración 12-2:</b>	Patrón de flujo uniforme.....	28
<b>Ilustración 13-2:</b>	Flujo convergente.....	28
<b>Ilustración 14-2:</b>	Flujo Torbellino.....	29
<b>Ilustración 15-2:</b>	Flujo Turbulento.....	29
<b>Ilustración 16-2:</b>	Flujo Laminar. ....	30
<b>Ilustración 17-2:</b>	Diagrama de Moody.....	33
<b>Ilustración 18-2:</b>	Pérdidas en las rejillas de limpieza .....	35
<b>Ilustración 19-2:</b>	Velocidad media en el tubo de menor diámetro .....	35
<b>Ilustración 20-2:</b>	Potencia instalada, curva de demanda de la comunidad durante un día típico y proyección por potencia y por energía de la comunidad durante T años ..	37
<b>Ilustración 21-2:</b>	Medida de salto Bruto .....	38
<b>Ilustración 22-2:</b>	Turbina Francis, daños por cavitación y reparaciones antiguas con soldadura de acero inoxidable.....	38
<b>Ilustración 23-2:</b>	Altura del tubo difusor, Hs, para evitar la cavitación.....	39
<b>Ilustración 24-2:</b>	Coeficiente de Thoman.....	42
<b>Ilustración 25-2:</b>	a, b, c .....	43
<b>Ilustración 26-2:</b>	Rueda movida por el costado .....	44
<b>Ilustración 27-2:</b>	Acción .....	46

<b>Ilustración 28-2:</b>	Reacción.....	46
<b>Ilustración 29-2:</b>	Turbina axial.....	46
<b>Ilustración 30-2:</b>	Turbina radia .....	47
<b>Ilustración 31-2:</b>	Turbina tangencial.....	47
<b>Ilustración 32-2:</b>	Turbina Fourneyron.....	48
<b>Ilustración 33-2:</b>	Turbina Heuschel-JonVal .....	48
<b>Ilustración 34-2:</b>	Turbina Francis.....	48
<b>Ilustración 35-2:</b>	Turbinas Kaplan .....	49
<b>Ilustración 36-2:</b>	Turbina Pelton .....	50
<b>Ilustración 37-2:</b>	Turbina Schwamkrug .....	50
<b>Ilustración 38-2:</b>	Turbina Girard.....	51
<b>Ilustración 39-2:</b>	Turbina Michel o Bank.....	51
<b>Ilustración 40-2:</b>	GI con Banco de Capacitor .....	52
<b>Ilustración 41-2:</b>	GI con Convertidor de Frecuencia .....	52
<b>Ilustración 42-1:</b>	GI Rotor Bobinado .....	53
<b>Ilustración 43-2:</b>	GI con Doble Alimentación.....	54
<b>Ilustración 44-2:</b>	Generador de Imán Permanente .....	54
<b>Ilustración 45-2:</b>	GS Rotor Bobinado y Convertidor.....	54
<b>Ilustración 46-2:</b>	GS, Dos Convertidores de Potencia .....	55
<b>Ilustración 47-2:</b>	GS de Múltiples Polos, sin Engranajes .....	55
<b>Ilustración 48-2:</b>	Triangulo de potencias .....	57
<b>Ilustración 49-2:</b>	Gráfico para para la determinación del número específico en función de la atura neta. ....	59
<b>Ilustración 1-3:</b>	Proceso de selección de una turbina.....	60
<b>Ilustración 2-3:</b>	Ubicación de la Estación de Bombeo el Carrizal .....	61
<b>Ilustración 3-3:</b>	Descripción topográfica del proyecto.....	62
<b>Ilustración 4-3:</b>	Descripción topográfica del proyecto.....	63
<b>Ilustración 5-3:</b>	Posición, altura y longitud de puntos principales del proyecto .....	64
<b>Ilustración 6-3:</b>	Rejilla de Limpieza del tanque rompe presiones.....	65
<b>Ilustración 7-3:</b>	Dimensiones del Tanque rompe presiones .....	69
<b>Ilustración 8-3:</b>	Eficiencia de turbinas hidráulicas.....	70
<b>Ilustración 9-3:</b>	Electrocución de la turbina de acuerdo a las características de caudal y altura neta .....	71
<b>Ilustración 1-4:</b>	Grafica del TIR.....	77

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** PROPIEDADES DEL AGUA

**ANEXO B:** MUESTRAN ALGUNOS VALORES DE RUGOSIDAD ABSOLUTA PARA  
DISTINTOS MATERIALES.

**ANEXO C:** COEFICIENTES DE ACCESORIOS

**ANEXO D:** OFERTA CANYO HIDRO

**ANEXO E:** OFERTA CHENGU FOSTER

**ANEXO F:** OFERTA FORWARD HYDRO

## RESUMEN

El presente proyecto técnico tuvo como objetivo, realizar un estudio técnico económico por medio de la selección del conjunto turbina y generador para la estación de bombeo el Carrizal cantón Salcedo por medio del GAD MUNICIPAL DEL CANTON SALCEDO, para lo cual se visitó las instalaciones de la estación de bombeo el Carrizal para obtener los parámetros para el presente estudio. En el primer capítulo se revisaron referencias bibliográficas de diversos autores y con esto se estableció los parámetros como los son altura y flujo de agua esenciales para la selección de turbina y generador, para lo cual se partió desde el punto de abastecimiento con la que cuenta la estación de bombeo, midiendo los niveles de caudal que tiene durante las distintas estaciones del año lo que permitió obtener los niveles máximos y mínimos de abastecimiento de agua. La selección de la turbina y generador adecuados el cual se describió en el segundo capítulo los tipos de turbinas y generadores y su clasificación que existen en el mercado la cual nos permitió obtener la máxima potencia generada de la mini central hidroeléctrica con una turbina Francis con un generador trifásico a 1800 rpm. Para el análisis económico de factibilidad se analizó los costos de consumo energético los cuales en la estación existen un consumo de 150 a 200 HP las cuales sirven para el abastecimiento de motores eléctricos conectados a bombas con los cuales abastecen de agua a la población de Salcedo, todo este consumo energético esta contabilizado como 60 000 USD de pagos anuales de la estación El Carrizal, con los estudios realizados la inversión del conjunto turbina generador saldrían en los 140 000 USD los cuales serían amortizados en un periodo de 5 años con la generación y mantenimiento de dicha turbina.

**Palabras claves:** <ENERGIA ELECTRICA><TURBINA> <GENERADOR>< CENTRALES HIDROELECTRICASCIÓN> <TURBINAS >< POTENCIA ELÉCTRICA >.

0600-DBRA-UTP-2023





## SUMMARY

The objective of this technical project was to carry out a technical-economic study through the selection of the turbine and generator set for the pumping station El Carrizal canton Salcedo through the MUNICIPAL GAD OF THE CANTON SALCEDO, for which the facilities of the El Carrizal pumping station to obtain the parameters for the present study. In the first chapter, bibliographical references of various authors were reviewed and with this the parameters such as height and water flow essential for the selection of turbine and generator were established. For which it started from the supply point that the company has pumping station, measuring the flow levels that it has during the different seasons of the year, which allowed obtaining the maximum and minimum levels of water supply. The selection of the appropriate turbine and generator which was described in the second chapter, the types of turbines and generators and their classification that exist in the market which allowed to obtain the maximum power generated from the mini hydroelectric plant with a Francis turbine with a three-phase generator at 1800 rpm. For the economic analysis of feasibility, the costs of energy consumption were analyzed, which in the station have a consumption of 150 to 200 HP. They were used to supply electric motors connected to pumps with which they supply water to the population of Salcedo. All this energy consumption is accounted for as USD 60,000 of annual payments from the El Carrizal station. With the studies carried out, the investment in the turbine-generator set would come out at USD 140,000, which would be amortized over a period of 5 years with generation and maintenance of the turbine.

**Keywords:** <TURBINE> <GENERATOR> <CAVITATION> <PUMPS> <ELECTRICAL POWER>



Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera Mgs.

0603747809

## INTRODUCCIÓN

Las centrales hidroeléctricas son fuentes muy importantes del planeta, pues cubren el 16% de la demanda mundial de energía muy por encima de las fuentes renovables como son la solar y la eólica. Las proyecciones de un futuro cercano muestran que continuara liderando el abastecimiento de la nueva demanda eléctrica y así la reducción de dióxido de carbono a la atmosfera.

Si bien a nivel global las hidroeléctricas son sostenibles con sus abundantes beneficios, es necesario tomar en cuenta los beneficios a nivel local como son los embalses multipropósito, donde se promueve actividades productivas de desarrollo en el área de influencia, como el turismo, sistemas de riego para la agricultura, agua potable y el desarrollo de la pesca.

El Ecuador impulsa el desarrollo de proyectos de generación eléctrica, principalmente de fuentes limpias. Como parte de esta gestión, El bloque de energía renovables no Convencionales (ERNC), que busca desarrollar pequeñas centrales hidroeléctricas, proyectos fotovoltaicos, eólicos y de biomasas en varias provincias del país, fue actualizado de 200 MW a 500 MW de potencia.

Para el desarrollo de este estudio de factibilidad se tomó en cuenta algunos de los siguientes trabajos y libros desarrollados a través de los años como: “PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS CONSTRUCCIÓN PASO A PASO”, que parte desde el desarrollo de las energía eléctricas utilizando recursos hidro energéticos en pequeña escala, donde explica que las primeras centrales hidroeléctricas eran aprovechadas con generadores de energía continua que permitían alimentar solo el sistema de alumbrado público con el desarrollo de generadores de energía eléctrica alterna se logró aumentar las potencias y la capacidad de transmisión , esto llevo a mediados del siglo XX , la mayoría de municipios, fincas tuvieron una pequeña central hidroeléctrica, construidas con recursos propios y parte de ingeniería de diseño y construcción regional . El trabajo “CÁLCULO Y SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE UNA TURBINA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN LA COMUNIDAD DE PUESTA DE SOL-LONYA GRANDE-RIO NAPO”, en la Comunidad de Puesta de Sol-Lonya Grande-Rio Napo presento los criterios y parámetros como la potencia del agua disponible en la locación, selección del sistema de anclaje al piso, selección del rodete, factores de potencia generada y la puesta en marcha del proyecto con la implementación de un prototipo.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes

Las primeras hidroeléctricas inician en el año 1882, en las instalaciones de las pequeñas centrales localizadas en Inglaterra, Estados Unidos y Francia. En México, unos cuantos años, se construyen sus primeras instalaciones. Batopilas en Chihuahua, fue la primera central construida en México en 1889; así, México se le considero pionera en la generación de energía eléctrica. Por 48 años, empresas privadas extranjeras instalaron pequeñas hidroeléctricas y comercializaron el producto en territorio mexicano. En 1937, el gobierno del presidente Lázaro Cárdenas creó la Comisión Federal de Electricidad (CFE), con ello, la generación de energía de eléctrica pasó a ser del Estado. Hoy en día, el mundo tiene la necesidad de recurrir al desarrollo sustentable, utilizando recursos renovables para generar energía eléctrica y abatir con ello el cambio climático. En ese sentido, en México, el recurso renovable que más le favorece por su geografía, topografía y relieve es el hídrico. (1 pág. 1)

En el año 2018 se presenta un artículo donde se revisan los aspectos básicos a tener en cuenta dentro del planteamiento de un proyecto de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), realizando énfasis en las metodologías de formulación y un acercamiento a los equipos electromecánicos vinculados al proceso de generación de energía. Se obtiene la descripción de cada fase de prefactibilidad de un proyecto de PCH, así como los puntos clave y/o críticos asociados a su desarrollo y posible implementación en el marco de generación de energía colombiano (2 pág. 1)

En el estudio de la “Metodología para el diseño de turbinas en pequeñas centrales hidroeléctricas con capacidad menor a 10 MW-con ejemplo de aplicación.” Donde se enfatiza en la estandarización de un diseño de turbinas Francis logrando facilitar el control y la secuencia de dimensionamiento de turbinas en pequeñas centrales hidroeléctricas tomando en cuenta que los pequeños grupos de generadores pueden ser fabricados en el Ecuador. En la hoja de cálculo del proyecto se aplicó el diseño de las turbinas para la central hidroeléctrica Sardinas para lo cual se presenta un resumen de las principales características del proyecto, que servirán como base para definir la selección y el dimensionamiento de las turbinas. (3 pág. 14)

En general, en el Ecuador existen muchas regiones que tienen cuantiosos recursos energéticos, la mayor parte de ellos adquiridos a partir de hidrocarburos que se encuentran generando grandes

problemas al medio ambiente debido a las emisiones de gases de efecto invernadero, y los efectos que estos generan en el clima, es por esto de la necesidad de buscar y reemplazar la energía basada en combustión de hidrocarburos por energía renovables. Los macroproyectos de centrales hidroeléctricas tienen el beneficio de generar suficientes cantidades de electricidad durante el año aprovechando el potencial hidráulico teórico calculado con caudales medios del país, es de 90976 MW. Teniendo en cuenta que la capacidad efectiva a noviembre de 2017 era de 8000 MW.

## **1.2 Delimitación**

### ***1.2.1 Delimitación espacial***

El presente trabajo se desarrollará en la ciudad de Salcedo, Provincia de Cotopaxi del territorio nacional

### ***1.2.2 Delimitación sectorial***

El estudio y desarrollo de este trabajo se acoge al Plan nacional de Desarrollo 2017-2021, en base al objetivo 1 el cual indica; “Garantizar una vida digna con iguales para todas las personas”.

### ***1.2.3 Delimitación temporal***

Los datos que serán considerados para la realización del trabajo de investigación propuesto serán enmarcados dentro del periodo 2021-2022 considerando la temática del abastecimiento de agua con el que cuenta la estación de Bombeo El Carrizal

## **1.3 Formulación del problema**

Existe la estación de bombeo El Carrizal en el Cantón Salcedo donde el consumo energético de las bombas que abastecen de agua a la población de Salcedo. Para abastecer el agua potable desde la estación de bombeo hasta el tanque de distribución se requiere de bombas de gran tamaño que demanda potencias de 150 a 200 HP que trabajan simultáneamente para cubrir la demanda de la población.

En la estación de bombeo El Carrizal existe una caída de agua la misma que es aprovechada para accionar una bomba de 200 HP por medio de una caja reductora de velocidad la misma que es accionada por una turbina hidráulica.

Por pedido del GAD MUNICIPAL DEL CANTON SALCEDO a través de la dirección del Agua Potable solicitan el estudio de factibilidad para la instalación de una pequeña central hidroeléctrica para lo cual la energía que produzca la central será utilizada en la estación de bombeo cambiando las turbinas hidráulicas por motores eléctricos.

#### **1.4      Objetivos**

##### ***1.4.1      Objetivo general***

Realizar el estudio de factibilidad técnica y económica de la construcción y operación de una mini central hidroeléctrica (MCH), aprovechando la caída de agua que existe en la estación de bombeo El Carrizal.

##### ***1.4.2      Objetivos específicos***

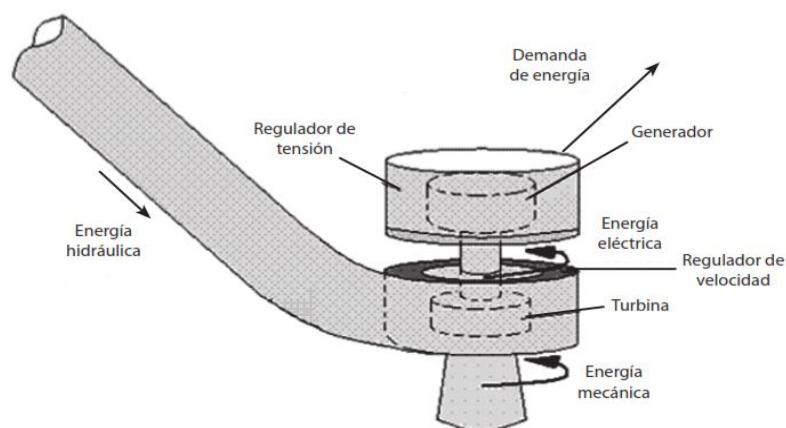
- Realizar el estudio hidrológico del suministro de agua para la estación de bombeo.
- Seleccionar la turbina y generador comparando los parámetros de los diferentes proveedores para la adecuada transformación de energía potencial a energía mecánica.
- Desarrollar el listado de piezas necesarias y planos para la instalación de la turbina y generador
- Desarrollar el estudio de ingeniería económica para la viabilidad del proyecto a nivel de prefactibilidad

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1 Principio de funcionamiento de una PCH (Pequeña Centra Hidroeléctrica)

Un esquema general de una instalación para generar energía hidroeléctrica, corresponde en términos generales al indicado en la Ilustración 1. En ella se observa que el proceso de conversión de energía es dinámico, la energía hidráulica es transformada en mecánica por la turbina y esta a su vez es transformada en energía eléctrica por un generador para suministrar a la demanda a través de líneas de interconexión Ilustración 1. Este proceso de conversión de energía se realiza manteniendo constantes dos parámetros eléctricos: voltaje y frecuencia. Esto se logra si la instalación se tiene un regulador de tensión y un regulador de velocidad trabajando en perfecta armonía, ya que cualquier cambio en la demanda de energía afecta estos dos parámetros. El primero de ellos es un parámetro eléctrico, que se regula en función de los reactivos de la máquina eléctrica (regulador de tensión) y el segundo parámetro es mecánico, esto indica que su regulación es función del flujo másico, es decir del caudal y por tal motivo la turbina debe tener un dispositivo para tal fin (regulador de velocidad), tal como se indica en la Ilustración 1. (4 pág. 24)



**Ilustración 1-2:** Proceso de conversión de energía.

Fuente: (4 pág. 24)

#### 2.2 Que es la energía hidráulica

La energía hidráulica corresponde a un proceso de conversión de energía gravitacional, originada a partir del flujo másico del agua a través de la tubería de presión **Ilustración 2**. Es decir, la energía hidráulica suministrada a la turbina equivale al peso de agua  $m$  que se desplaza en el tramo, comprendido entre la sección de entrada (0-0) y la salida de la tubería de presión (1-1), y corresponde a (4 pág. 25):

$$E_H = H_{est} m \quad (1)$$

donde:  $H_{est}$  es la altura estática, que corresponde a la diferencia entre el nivel superior  $NS$  e inferior  $NI$  **Ilustración 2**, esto es:  $H_{est} = z_{NS} - z_{NI}$ , el peso del agua  $m$  corresponde a:  $m = \rho g V$  en esta ecuación el volumen  $V$  equivale al producto del caudal  $Q$  en una magnitud de tiempo  $t$

$$V = Q * t \quad (2)$$

De esta forma la energía hidráulica suministrada a la turbina corresponde a (4 pág. 25):

$$E_H = H_{est} \rho g Q t \quad (3)$$

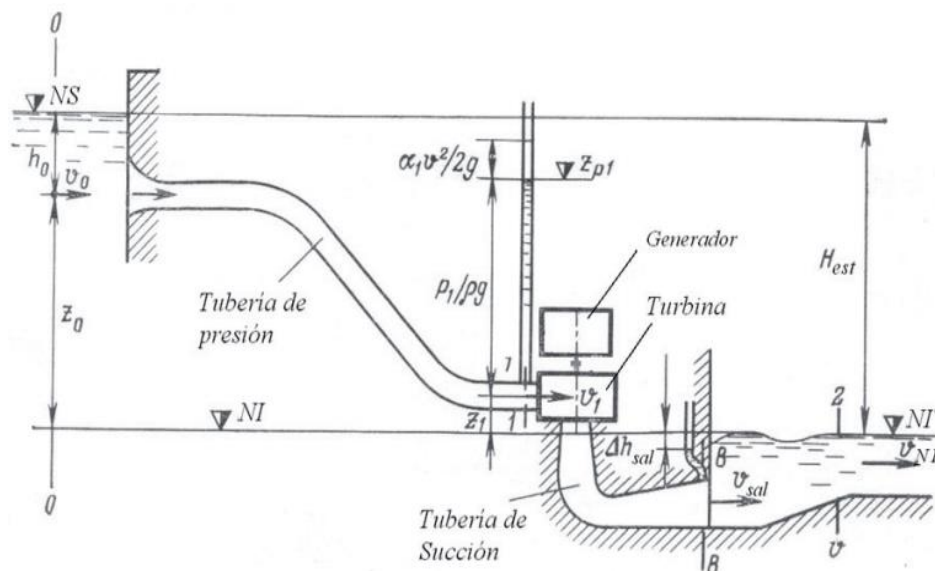
Y la potencia hidráulica total obtenida en este tramo equivale a:

$$P_H = \frac{E_H}{t} = H_{est} \rho g Q \quad (4)$$

Al sustituir los valores de la densidad del agua y la aceleración de la gravedad se tiene que la potencia hidráulica total dada en kilowatts es igual a (4 pág. 25):

$$P_H = 9,81 H_{est} Q \text{ (Kw)} \quad (5)$$

donde:  $Q$  es el caudal dado en ( $m^3/s$ ) y  $H_{est}$  es la caída en (m) (4 pág. 25).



**Ilustración 2-2:** Energía hidráulica

Fuente: (4 pág. 25)

Sin embargo, es importante señalar que, en la ecuación anterior, la altura estática no incluye las pérdidas por longitud y accesorios en la tubería de presión, además no considera el efecto del gradiente cinético en la tubería de presión y la recuperación de parte de la energía cinética del agua a la salida del tubo de succión. (4 pág. 25).

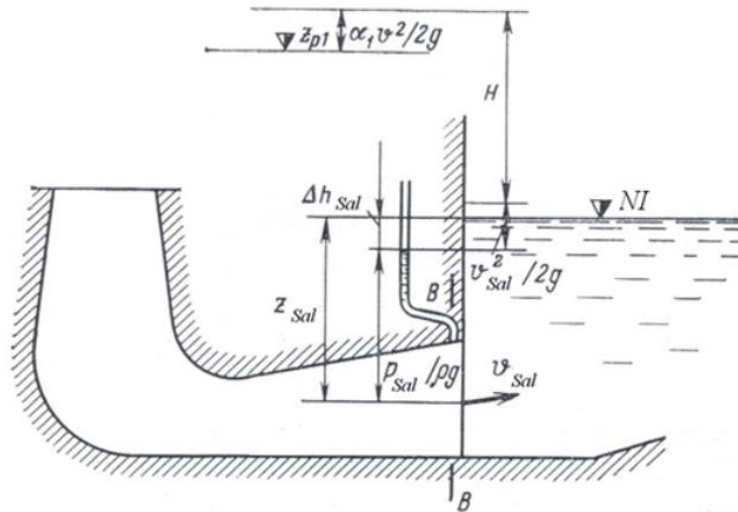
Por tal motivo para tener un mayor detalle y considerar las pérdidas por longitud y accesorios en la tubería de presión  $\Delta h$ , la potencia hidráulica total se determina de la siguiente forma: (4 pág. 25).

$$P_H = 9,81 (H_{est} - \Delta h) Q \quad (6)$$

El efecto del gradiente cinético en la tubería de presión se refiere a la diferencia de velocidades entre la toma de agua y el final de la tubería de presión, **Ilustración 3**.

Para esta condición, la caída de la turbina H corresponde a la diferencia entre la “Caída Bruta de la turbina” y las pérdidas hidráulicas por longitud y accesorios en la tubería de presión:

$$H = H_B - \Delta h = H_{est} + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \Delta h \quad (7)$$



**Ilustración 3-2:** Tubo de aspiración

Fuente: (4 pág. 26)

De esta forma al considerar las pérdidas hidráulicas  $\Delta h$  y el efecto del gradiente cinético en la tubería de presión, la potencia hidráulica total se determina de la siguiente forma:

$$P_H = 9,81 (H_{est} - \Delta h + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}) Q \quad (8)$$



Sin embargo, es necesario considerar, la recuperación de parte de la energía cinética del agua a la salida del tubo de succión, que hace que aumente la caída **Ilustración 4** en una magnitud equivalente a:

$$e_{sal} = -\Delta h_{sal} + \frac{\alpha_{sal} v_{sal}^2}{2g} \quad (9)$$

De esta forma al considerar la recuperación energética en el tubo de succión, las pérdidas hidráulicas y el efecto del gradiente cinético en la tubería de presión, se tiene que la potencia hidráulica total equivale a:

$$P_H = 9,81 \left( H_{est} - \Delta h + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \Delta h_{sal} - \frac{\alpha_{sal} v_{sal}^2}{2g} \right) Q \quad (10)$$

Es importante señalar que la energía aportada por el tubo de succión es relevante en aprovechamientos hidroenergéticos de baja caída, donde esta puede equivaler entre un 50 a un 90% de la energía total. Sin embargo, en PCH's de media y alta caída, la recuperación de parte de la energía cinética del agua a la salida del tubo de succión no es relevante y por tal motivo se pueden considerar que la "Caída Neta de la turbina" equivale a:

$$H = H_{est} - \Delta h \quad (11)$$

### 2.3 Tipos de pequeñas centrales hidroeléctricas

Los aprovechamientos hidroenergéticos en pequeña escala pueden estar dentro del SIN o estar completamente aislados en ZNI. Cuando éstos se encuentran interconectados, la demanda por potencia y por energía puede ser cubierta por el sistema que lo respalda a través de la línea de interconexión y además podrá transmitir sus excedentes de potencia y energía al sistema. Sin embargo, esto no ocurre cuando deben atender una demanda aislada, en este instante la planta de generación debe cumplir los requerimientos por potencia y energía, manteniendo constantes la frecuencia y el voltaje. Una alternativa que reduciría estas exigencias a la PCH, sería disponer de un embalse que le permitiera cubrir en todo instante las oscilaciones de la demanda, esto obliga a construir una presa que crea a su vez un embalse, aprovechable también para el regadío y control de crecientes; sin embargo, estas obras requieren una mayor profundidad en su diseño y de mayor tecnología. Por tal motivo se reemplaza por una bocatoma, que capta parte del caudal disponible en el recurso, esta característica hace que PCH en derivación trabaje a filo de agua. Adicionalmente las PCH se adaptan fácilmente a diferentes condiciones de caída impuestas por las características topográficas y cartográficas de la zona del proyecto; de esta forma las PCH

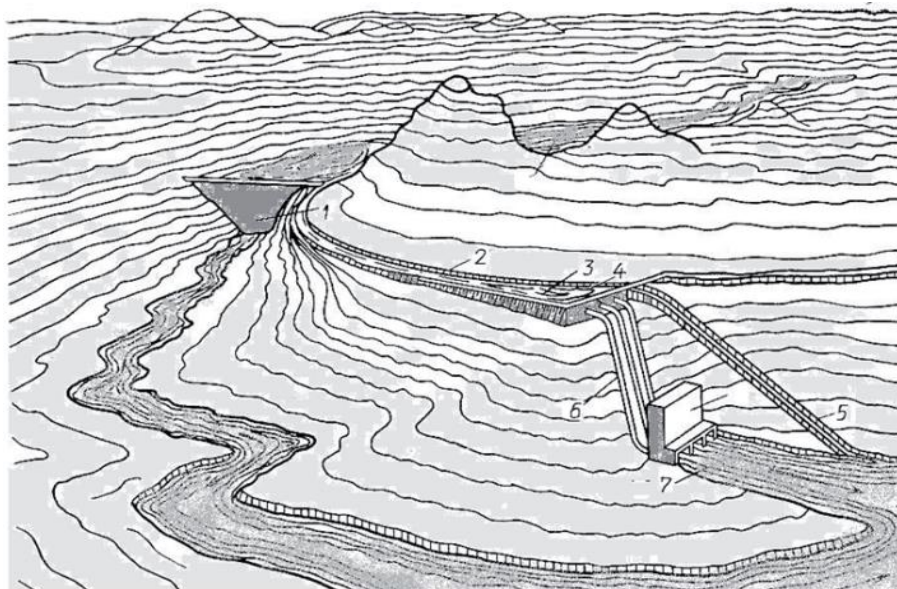
también se pueden clasificar según la caída en: baja, media y alta caída **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Ilustración 4. Bajo estas consideraciones en ZNI, los aprovechamientos hidro energéticos en pequeña escala deben atender una demanda por potencia y energía manteniendo constantes la frecuencia y el voltaje, con una PCH en derivación Ilustración 4. Esta PCH se caracteriza por no disponer de un embalse que le permita reservar agua para usarla en las épocas de menor caudal, en tal sentido el caudal es tomado directamente del recurso hídrico a través de una bocatoma, que se comunica con un canal, quien se encarga de conducir el caudal con una pequeña pendiente hasta el lugar donde se obtiene la caída necesaria, para obtener la potencia requerida; en este lugar se encuentra un tanque de carga y un desarenador que unen el canal con la tubería de presión, encargada de llevar el caudal hasta la turbina Ilustración 4. (5 pág. 28)

**Tabla 1-2:** Clasificación para pequeños aprovechamientos hidro energéticos según la Caída

Tipo	Caída(m)		
	Baja	Media	Alta
<b>Micro CHE</b>	$H > 15$	$15 < H < 50$	$H > 50$
<b>Mini CHE</b>	$H < 20$	$20 < H < 100$	$H > 100$
<b>PCH</b>	$H < 25$	$25 < H < 130$	$H > 130$

Fuente: (4 pág. 28)

Realizado por: Padila, Byron, 2021



**Ilustración 4-2:** PCH en derivación.

Fuente: (4 pág. 28)

Algunas de las características más relevantes de los elementos que componen la PCH son Ilustración 4-2: **PCH** en derivación.

:

- Bocatoma (1). Es la obra mediante la cual tomamos el caudal, que se requiere para obtener la potencia de diseño, su construcción es sólida ya que debe soportar las crecientes del río. (4 pág. 29)
  - Obra de conducción (2). Se encarga de conducir el caudal desde la bocatoma hasta el tanque de carga, posee una pequeña pendiente, en la mayoría de los casos suele ser un canal, aunque también puede ser un túnel y/o una tubería. (4 pág. 29)
  - Desarenador (3). Es necesario que las partículas en suspensión que lleva el agua sean decantadas, por ello al final de la obra de conducción se construye un tanque de mayores dimensiones que el canal, para que las partículas pierdan velocidad y sean decantadas. (4 pág. 29)
  - Tanque de carga (4). En esta obra la velocidad del agua es prácticamente cero, empalma con la tubería de presión, sus dimensiones deben garantizar que no ingresen burbujas de aire en la tubería de presión, permitir el fácil arranque del grupo turbina - generador y amortiguar el golpe de ariete.
  - Aliviadero (5). Con esta obra se vierte el caudal de exceso que se presentan en la bocatoma y en el tanque de carga, y se regresa al cauce del aprovechamiento. (4 pág. 29)
  - Tubería de presión (6). A través de ella se conduce el caudal de diseño hasta la turbina, está apoyada en anclajes que le ayudan a soportar la presión generada por el agua y la dilatación que le ocurre por variación de temperatura. (4 pág. 29)
  - Casa de máquinas (7). En ella encontramos el hidro grupo, encargado de transformar la energía potencial en mecánica y está en eléctrica para atender la demanda. (4 pág. 29)
- Otros elementos. Válvulas, reguladores, volante, tablero de medida y protecciones, subestación, barraje, etc. (4 pág. 29)

## 2.4 Circulación del agua en conductos cerrados

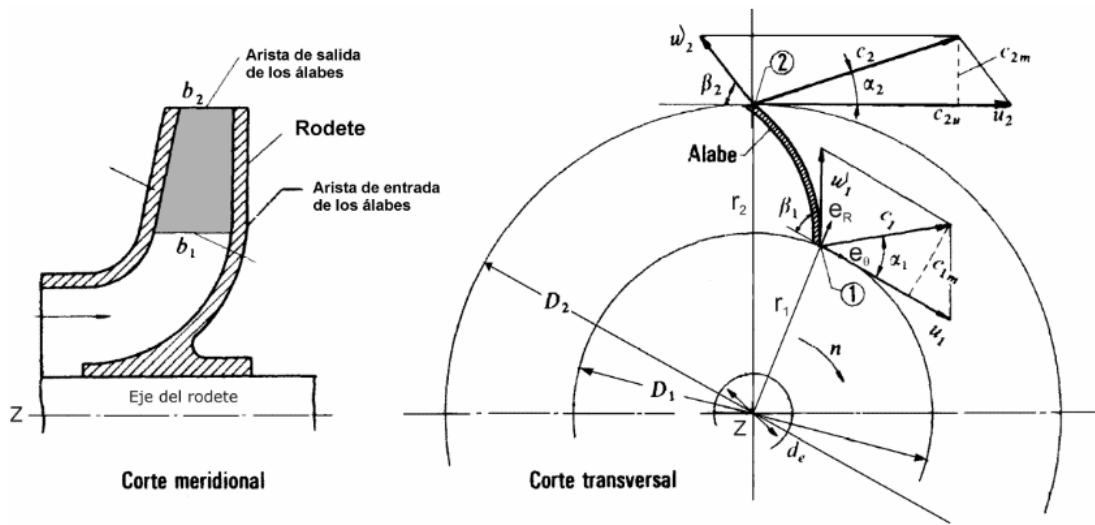
La energía contenida en un fluido incompresible que circula por el interior de un tubo, viene dada por la ecuación de Bernoulli:

$$H_1 = h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} \quad (12)$$

en la que H es la energía total, h la elevación de la línea de corriente sobre un plano de referencia, P la presión,  $\gamma$  el peso específico del fluido, V la velocidad de la línea de corriente y g la aceleración de la gravedad. La energía total en el punto 1 es pues la suma de la energía potencial  $h_1$ , la energía de presión  $P_1 / \gamma$  y la energía cinética  $V_1^2 / 2g$ .

## 2.5 Transferencia de energía en la turbo maquinarias

### 2.5.1 La ecuación de Euler



**Ilustración 5-2:** Rodete de una bomba centrífuga con triángulos de velocidades en la entrada y salida de los álabes. Por simplicidad solo se muestra la mitad del rodete.

Fuente: (6 pág. 21)

Notación:

$b_1, b_2$  = anchos de entrada y salida del álabe.

$D_1, D_2$  = diámetros de entrada y salida del álabe.

$d_e$  = diámetro del eje del rotor

$C_1, C_2$  = velocidad absoluta de una partícula de fluido a la entrada y salida del álabe.

$n$  = velocidad angular del rotor en rpm

$u_1, u_2$  = velocidades periféricas (absolutas) de los álabes en la entrada y salida de los álabes.

$w_1, w_2$  = velocidades relativas del fluido en la entrada y salida de los álabes.

Los puntos 1 y 2 se refieren a la entrada y salida del rodete respectivamente. (6)

$$\vec{W}_1 = \vec{C}_1 - \vec{u} \text{ y } \vec{W}_2 = \vec{C}_2 - \vec{u} \quad (13)$$

El momento efectuado por el conjunto de fuerzas actuantes sobre la masa contenida en un volumen de control, con respecto a un punto fijo O, para un sistema de referencia inercial ubicado sobre el volumen de control, está dado por (6 pág. 21):

$$\sum \vec{M}_o = \vec{r} \times \sum \vec{F}_{VC} = \vec{r} \times \left[ \frac{\partial}{\partial t} \int_{vc} \rho \vec{v} r \, dV + \int_{sc} \rho \vec{v} r (\vec{v} \cdot \vec{dA}) \right] \quad (14)$$

Considerando  $\sum \vec{F}_{VC}$  que está conformado por la suma de fuerzas volumétricas, superficiales y de reacción mecánica; es decir (6 pág. 21):

$$\sum \vec{F}_{VC} = \sum \vec{F}_{vol} + \sum \vec{F}_{sup} + \sum \vec{F}_{mec} = \int_{vc} \rho \vec{Vr} dV + \left[ \int_{sc} \hat{t} dA + \int_{sc} \bar{p} dA \right] + \sum \vec{F}_{mec} \quad (15)$$

Reemplazando en la ecuación de momento se tiene (6 pág. 21):

$$\begin{aligned} \sum \vec{M}_o &= \vec{r} \times \sum \vec{F}_{VC} = \vec{r} \times \left[ \int_{vc} \rho \vec{Vr} dV + \sum \vec{F}_{sup} + \sum \vec{F}_{mec} \right] \\ &= \frac{\partial}{\partial t} \int_{vc} \rho (\vec{r} \times \vec{Vr}) dV + \int_{sc} \rho (\vec{r} \times \vec{Vr}) (\vec{Vr} \cdot \vec{dA}) \end{aligned} \quad (16)$$

O lo que es lo mismo (6):

$$\begin{aligned} \vec{r} \times \left[ \int_{vc} \rho \vec{Vr} dV + \sum \vec{F}_{sup} + \sum \vec{F}_{mec} \right] \\ = \frac{\partial}{\partial t} \int_{vc} \rho (\vec{r} \times \vec{Vr}) dV + \int_{sc} \rho (\vec{r} \times \vec{Vr}) (\vec{Vr} \cdot \vec{dA}) \end{aligned} \quad (17)$$

“Ecuación integral de momento angular o momento de la cantidad de movimiento”

Para aplicar la ecuación de momento angular al flujo de un fluido a través de una turbomáquina se considera que el volumen de control se halla justamente fuera del rodete (Volumen de control externo). Se ubica el sistema de referencia inercial x y z sobre el rodete, orientando el eje z paralelo al eje de la turbomáquina (6 pág. 22). El V. C. está fijo, tal que  $\vec{V}_r = \vec{V}$ .

Tomando momentos con respecto al eje de la máquina (eje z), y haciendo  $\vec{V} = \vec{C}$  = velocidad absoluta del fluido, la ecuación anterior resulta (6 pág. 22):

$$\begin{aligned} \left( \vec{r} \times \sum \vec{F}_{sup} \right)_z + \left( \int_{vc} \rho \vec{g} dV \right)_z + \left( \vec{r} \times \sum \vec{F}_{mec} \right)_z \\ = \frac{\partial}{\partial t} \int_{vc} \rho (\vec{r} \times \vec{C}) dV + \int_{sc} \rho (\vec{r} \times \vec{C}) (\vec{C} \cdot \vec{dA}) \end{aligned} \quad (18)$$

Pero, los momentos originados por las fuerzas superficiales de presión y cortantes pueden despreciarse y el momento producido por el peso es nulo por simetría. Además, considerando un flujo permanente, la ecuación anterior resulta (6 pág. 22):

$$\sum M_z = M = (\vec{r} \times \sum \vec{F}_{mec}) = \int_{sc} \rho (\vec{r} \times \vec{C})_z (\vec{C} \cdot \vec{dA}) \quad (19)$$

Desarrollando para las áreas de entrada y salida, usando coordenadas cilíndricas para descomponer los vectores (6 pág. 22):

$$M = -\rho \int_{A_1} [r_1 \vec{e}_R \times (C_1 \cos \alpha_1 \vec{e}_\theta + C_1 \cos \alpha_1 \vec{e}_R)] C dA \quad (20)$$

$$+ \rho \int_{A_2} [r_2 \vec{e}_R \times (C_2 \cos \alpha_2 \vec{e}_\theta + C_2 \cos \alpha_2 \vec{e}_R)] C dA$$

$$M = -\rho r_1 C_1 \cos \alpha_1 C_1 A_1 + \rho r_2 C_2 \cos \alpha_2 C_2 A_2 \quad (21)$$

Pero, por conservación de masa se tiene que  $\rho C_1 A_1 = \rho C_2 A_2 = \rho Q$  entonces (6 pág. 22):

$$M = \rho Q (r_2 C_2 \cos \alpha_2 - r_1 C_1 \cos \alpha_1) \quad (22)$$

De los triángulos de velocidades se tiene que:  $C_1 \cos \alpha_1 = C_{1u}$  y  $C_2 \cos \alpha_2 = C_{2u}$  donde  $C_{1u}$  y  $C_{2u}$  son las proyecciones de  $C_1$  y  $C_2$  en dirección de  $u_1 = u_2$  respectivamente (6 pág. 22).

Luego:

$$M = \rho Q (r_2 C_{2u} - r_1 C_{1u}) \quad (23)$$

M - es el momento total comunicado al fluido por el rodete o “Momento Hidráulico”

Q – es el caudal de bombeo o caudal turbinado, dependiendo del tipo de turbomáquina, considerando que el rodete tiene infinitos álabes para poder captar la totalidad del caudal.

Nota. - Esta ecuación es válida solamente si el término del lado derecho de la ecuación del momento cinético es constante y esto ocurre cuando todas las partículas de fluido entran al rodete a un diámetro D1 con velocidad C1 y salen a un diámetro D2 con velocidad C, lo cual implica que el rodete está compuesto por un número infinito de álabes (6 pág. 23).

La potencia intercambiada en el rodete o la potencia que el rodete le comunica al fluido es (6 pág. 23):

$$P_i = M \omega = \rho Q \omega (r_2 C_{2u} - r_1 C_{1u}) \quad \text{con} \quad \omega = \frac{\pi n}{30} \text{ rad/s} \quad (24)$$

De la figura se observa que:  $r_1 \omega = u_1$  y  $r_2 \omega = u_2$  (6 pág. 23)

$$P_i = M \omega = \rho Q (u_2 C_{2u} - u_1 C_{1u}) \quad (25)$$

es la potencia teórica que el rodete de una bomba le comunica al fluido (6 pág. 23).

Por otra parte, el término  $(u_2 C_{2u} - u_1 C_{1u})$  representa a la energía específica que el rodete le comunica al fluido y se le denota por  $Y_u$ . Es decir (6 pág. 23):

$$P_i = M \omega = \rho Q Y_u \quad (26)$$

También,  $Y_u = (u_2 C_{2u} - u_1 C_{1u})$  suele expresarse en términos de altura de energía  $H_u$ , tal que  $H_u = Y_u/g$

Por lo tanto, la potencia resulta (6 pág. 24):

$$P_i = \gamma Q H_u \quad (27)$$

Donde:

$H_u$  - altura equivalente a la energía intercambiada en el fluido o altura hidráulica (6).

$Q$  – es el caudal de que se mueve en el rodete o caudal de bombeo en el caso de bombas y caudal turbinado en el caso de turbinas (6 pág. 24).

Asimismo, la relación  $Y_u = u_2 C_{2u} - u_1 C_{1u}$  se denomina “Primera ecuación de Euler para bombas, ventiladores y compresores” (6 pág. 24).

Cuando se trata de turbinas, el fluido es el que imparte energía al rodete entonces la ecuación de Euler se escribe como (6 pág. 24):

$Y_u = u_1 C_{1u} - u_2 C_{2u}$  y se denomina “Primera ecuación de Euler para turbinas hidráulicas, de vapor y de gas” (6 pág. 24).

En turbomáquinas es común expresar la energía en términos de altura ( $H_u = Y_u/g$ ), entonces (6 pág. 24):

$$H_u = \pm \frac{u_2 C_{2u} - u_1 C_{1u}}{g} \quad (28)$$

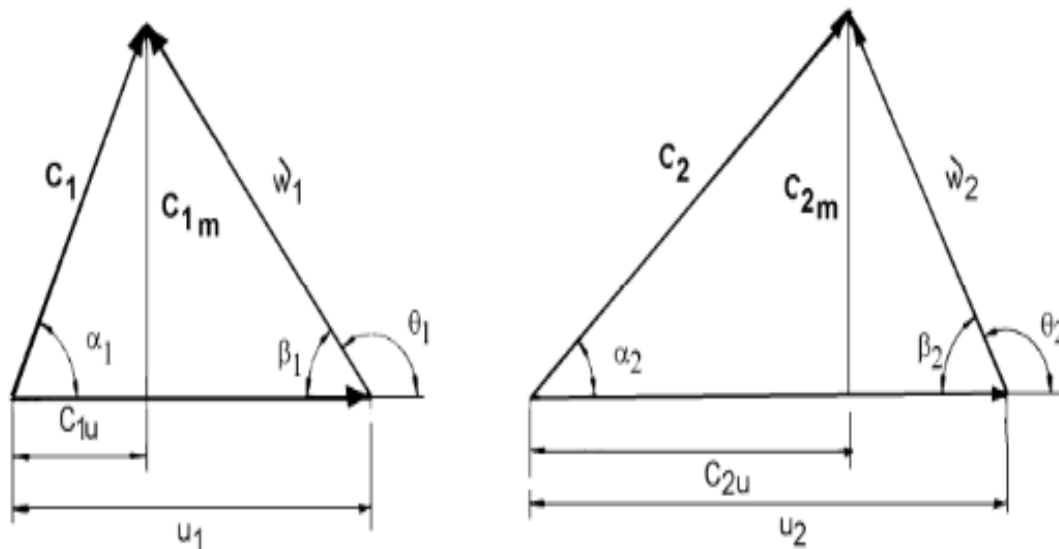
Ecuación de Euler para turbomáquinas: signo (-) para turbinas y (+) para bombas, ventiladores y compresores (6 pág. 24).

Donde:

$H_u$ - es la altura de Euler o, en particular, altura útil o energía útil aprovechada por el rodete en el caso de las turbinas, y altura teórica o energía teórica comunicada al fluido en el caso de las bombas, ventiladores y compresores (6 pág. 24).

### 2.5.2 Triángulos de velocidades

Las ecuaciones  $\vec{W}_1 = \vec{C}_1 - \vec{u}$  y  $\vec{W}_2 = \vec{C}_2 - \vec{u}$  se representan mediante triángulos llamados “triángulo de entrada” y “triángulo de salida” (6 pág. 24).



**Ilustración 6-2:** Triángulos de velocidades genéricos de entrada y salida con componentes de velocidades y ángulos típicos, según normas internacionales.

**Fuente:** (6 pág. 25)

$C_{1m}, C_{2m}$  – Componente meridional de la velocidad absoluta del fluido a la entrada y salida respectivamente. (6 pág. 25)

$C_{1u}, C_{2u}$ - Componente periférica de la velocidad absoluta del fluido a la entrada y salida respectivamente (6 pág. 25).

$\alpha$  – -ángulo que forma  $\vec{C} - \vec{u}$

$\beta$  – -ángulo que forma  $\vec{W}_1 - \vec{u}$

Del triángulo de entrada se deduce que (6 pág. 25):



$$W_1^2 = u_1^2 + C_1^2 - 2u_1C_1 \cos \alpha_1 = u_1^2 + C_1^2 - 2u_1C_1 \quad (29)$$

Entonces:  $u_1C_{1u} = 1/2 (u_1^2 + C_1^2 - W_1^2)$

Y del triángulo de salida:  $u_2C_{2u} = 1/2 (u_2^2 + C_2^2 - W_2^2)$

Remplazando en las ecuaciones de Euler se obtiene (6 pág. 25):

$$Y_u = \pm \left( \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2} + \frac{W_2^2 - W_1^2}{2} \right) \quad (30)$$

O también (6 pág. 25):

$$H_u = \pm \left( \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} + \frac{W_2^2 - W_1^2}{2g} \right) \quad (31)$$

Ecuación de Euler (segunda forma); signo (-) para turbinas y (+) para bombas, ventiladores y compresores (6 pág. 25).

### 2.5.3 *Altura de presión y altura dinámica del rodete*

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2 del rodete se tiene (6 pág. 26):

$$\frac{C_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 \pm \frac{Pot}{\gamma Q} = \frac{C_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + h_{1-2} \quad (32)$$

Signo (+) para bombas, ventiladores y compresores y (-) para turbinas (6 pág. 26).

Sin considerar las pérdidas al interior de la turbomáquina  $h_{1-2} = 0$  se tiene (6 pág. 26):

$$\pm \frac{Pot}{\gamma Q} = \pm H_u = \pm \left[ \frac{(P_2 - P_1)}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{(C_2^2 - C_1^2)}{2g} \right] \quad (33)$$

Igualando con a la expresión anterior de  $H_u$  se tiene:

$$= \pm \left[ \frac{(P_2 - P_1)}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{(C_2^2 - C_1^2)}{2g} \right] = \pm \left( \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} + \frac{W_2^2 - W_1^2}{2g} \right) \quad (34)$$

Simplificando y considerando además que  $(Z_2 - Z_1)$  suele ser pequeño o incluso cero en las máquinas de eje vertical se obtiene (6 pág. 26):

$$\pm \frac{(P_2 - P_1)}{\gamma} = H_p = \pm \left( \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} + \frac{W_2^2 - W_1^2}{2g} \right) \quad (35)$$

Signo (+) para bombas, ventiladores, sopladores y compresores (-) y signo (-) para turbinas.

Donde:  $H_p$ — altura de presión comunicada por el rodete (en bombas) o altura de presión absorbida por el rodete (en turbinas). También se denomina altura estática (6 pág. 26).

Al termino  $H_d = \pm \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g}$  se le denomina altura dinámica del rodete (6 pág. 26).

#### 2.5.4 El grado de reacción ( $\sigma$ )

Es la razón entre la altura estática que da o absorbe el rodete ( $H_p$ ) y la altura total transferida por el rodete ( $H_u$ ) o altura de Euler (6 pág. 26).

$$\sigma = \frac{H_p}{H_u} \text{ para } \alpha_1 = 90^\circ \text{ y } C_m = cte. \Rightarrow \sigma = 1 - \frac{C_{2u}}{2u_2}$$

Puesto que  $H_u$  es siempre positivo, entonces (6 pág. 26):

- Si  $H_p = 0$ , el grado de reacción  $\sigma$  es cero como en las turbinas de acción o impulso.
- Si  $0 < H_p < H_u$ , entonces  $0 < \sigma < 1$  como en las bombas y turbinas de reacción. Para turbinas de gas y vapor es usual que  $\sigma = 0,5$  (6 pág. 26).

#### 2.5.5 Consideraciones de Diseño de Rodetes e Impulsores.

Para condiciones de máxima eficiencia los rodetes e impulsores deben diseñarse de acuerdo a las siguientes consideraciones (6 pág. 27):

**Tabla 2-2:** Consideraciones en el diseño de rodetes de máxima eficiencia.

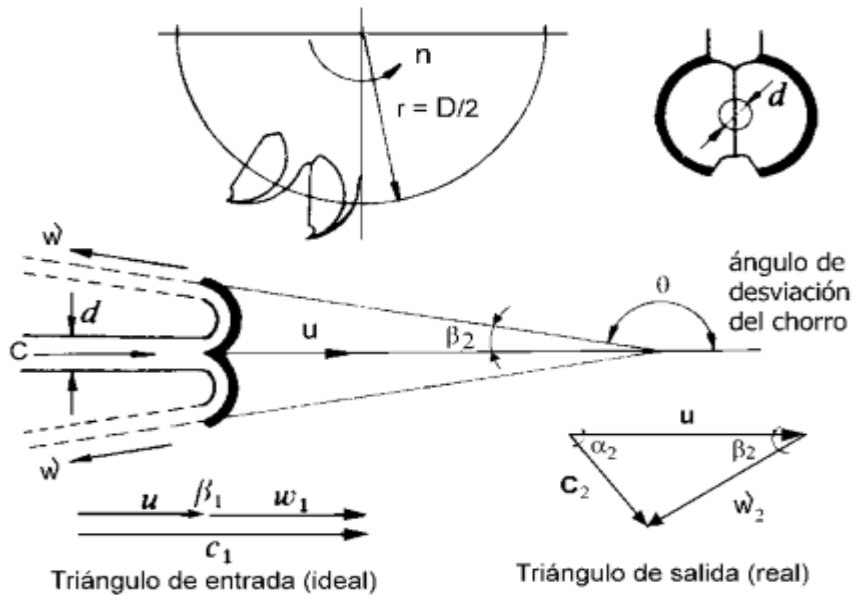
<b>Angulo</b>	<b>Turbinas</b>	<b>Bombas, Ventiladores y Compresores</b>
---------------	-----------------	---

<p><b>De entrada, de agua al rodete <math>\alpha_1</math></b></p>	<p>Debe ser pequeño de modo que <math>\cos \alpha_1</math> sea mayor posible. No puede ser nulo porque pues el agua no ingresaría al rodete (en turbinas de reacción). Su valor varía entre <math>12^\circ</math> y <math>24^\circ</math> y se puede suponer que <math>\cos \alpha_1 \approx 1</math>.</p>	<p>Debería ser cercano a cero para que <math>\cos \alpha_1</math> fuera lo mayor posible, pero esto forzaría una rotación del flujo en la dirección de giro del impulsor, lo que sería inadecuado para la entrada del mismo. En la práctica, el ángulo tiene un valor cercano a <math>90^\circ</math> de modo que <b><math>\cos \alpha_1 \approx 0</math></b>. <b>El ingreso del agua al rodete es radial</b></p>
<p><b>De salida de agua del rodete <math>\alpha_2</math></b></p>	<p>Teóricamente convendría que fuera mayor de <math>90^\circ</math>, pero es recomendable que <b><math>\alpha_2 = 90^\circ</math></b> de modo que <math>\cos \alpha_2 = 0</math></p>	<p>Debe ser cercano a los <math>90^\circ</math>. La velocidad tangencial <math>u_2</math> adquiere importancia primordial para lograr la carga dinámica de la bomba</p>
<p><b>De inclinación del álabe en la entrada <math>\beta_1</math></b></p>	<p>Para valores dados de <math>\alpha_1</math>, <math>C_1</math> y <math>D</math>, aumenta al incrementarse la velocidad de giro.</p>	<p>Menor de <math>90^\circ</math> para que <math>\alpha_1</math> se acerque a <math>90^\circ</math>. Disminuye su valor al incrementarse la velocidad de giro, para valores de <math>\alpha_1</math>, <math>C_1</math> y <math>D_1</math> conocidos.</p>
<p><b>De inclinación del álabe en la salida <math>\beta_2</math></b></p>	<p>Menor de <math>90^\circ</math> para que <math>\alpha_2</math> se acerque a <math>90^\circ</math>. Disminuye al aumentar la velocidad de giro.</p>	<p>Mayor de <math>90^\circ</math>. Para valores dados de <math>\alpha_2</math>, <math>C_2</math> y <math>D_2</math> aumenta al incrementarse la velocidad de giro.</p>

Fuente: (7 pág. 27)

## 2.6 Aplicación de la ecuación de Euler a las turbinas

### 2.6.1 Turbinas Pelton



**Ilustración 7-2:** Parámetros típicos en el rodete de una turbina Pelton  
**Fuente:** (6 pág. 38)

Donde:

$d$  - diámetro del chorro.

$D$  - diámetro del rodete

$C_1$ - velocidad de ingreso del fluido.

$C_2$ -- Velocidad de salida del fluido.

$u$  - velocidad periférica del álabe.

1.- La trayectoria de una partícula de fluido en el álabe es tangencial, de modo que (6 pág. 38):

$$u_1 = u_2 = u = \omega r = \omega \frac{D}{2}$$

2.- Se supone que no hay rozamiento en el álabe  $\Rightarrow \mathcal{W}_1 = \mathcal{W}_2$  (ideal)

Pero en realidad:  $\mathcal{W}_1 < \mathcal{W}_2$ ;  $k$ - coeficiente de disminución de velocidad relativa, menor que 1 (6 pág. 38).

3.-La velocidad de salida del chorro del inyector a la atmósfera (sin considerar pérdidas) es (6 pág. 38):

$$C_1 = \sqrt{2gH} \text{ (ideal)} \quad (36)$$

En el caso real, considerando pérdidas en el inyector (6 pág. 38):

$$C_1 = Cv\sqrt{2gH} \text{ (real)} \quad (37)$$

Con  $C_v$  - coeficiente de contracción de la vena líquida, depende de la boquilla (6).

Usualmente  $C_v = [0,96 - 0,98]$  (6 pág. 38).

También  $C_v = \sqrt{1 - \frac{H_{e-1}}{H}}$ ; donde  $H_{e-1}$  - pérdidas en el inyector y  $H$  - altura neta (6 pág. 38).

4.- El rendimiento óptimo (ideal) de la turbina se logra cuando:  $u_1 = \frac{1}{2}C_1 = \frac{1}{2}\sqrt{2gH}$

En la práctica:  $u_1 = x\sqrt{2gH}$  con  $x = [0,45 - 0,47]$

5.- Idealmente  $\alpha_1 = 0^\circ$ ;  $\beta_1 = 180^\circ$ , en la practica  $\alpha_1 \leq 17^\circ$

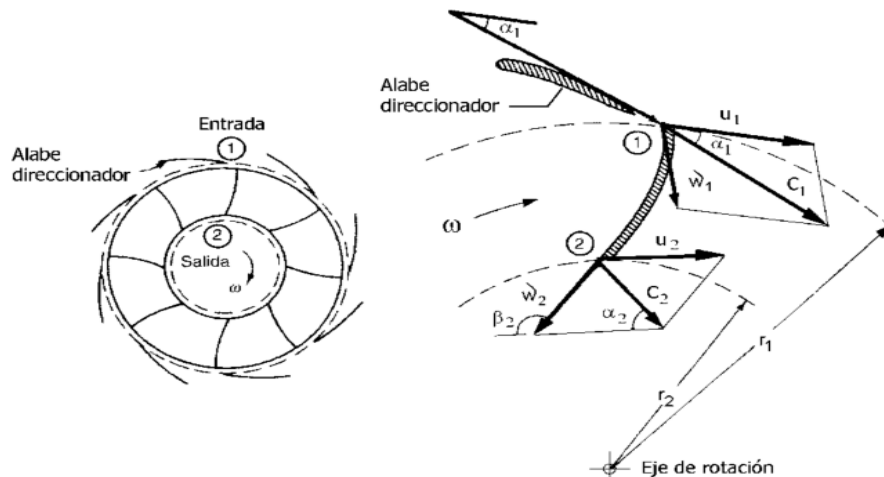
6.- Idealmente  $C_2 = 0$  pues la idea es aprovechar al máximo la energía cinética del agua; en la práctica  $C_2$  es muy pequeña (6 pág. 38).

7.- La potencia desarrollada por la turbina está dada por (6 pág. 38):

$$P_i = \vec{F} \cdot \vec{u} = \rho Qu(C_1 - u)(1 - \cos \theta) \text{ para } \omega_1 = \omega_2 \quad (38)$$

$$P_i = \rho Qu(W_1 - W_2 \cos \theta) \text{ para } \omega_1 \neq \omega_2 \quad (39)$$

### 2.6.2 Turbinas Francis, Kaplan



**Ilustración 8-2:** Rodete de una turbina de Reacción. Nótese el sentido del flujo hacia el rodete.  
Fuente: (6 pág. 39)

Las siguientes definiciones se aplican a todas las turbinas indistintamente (6 pág. 39):

#### 2.6.1.1 Altura Útil ( $H_u$ )

Es el valor de la altura de Euler:  $H_u = \frac{u_1 C_{1u} - u_2 C_{2u}}{g}$

Para condiciones óptimas se recomienda que  $\alpha_2 \approx 90^\circ$ , entonces  $\cos \alpha_2 \approx 0$ , por lo tanto (6 pág. 40)

$$H_u = \frac{u_1 C_{1u}}{g} \quad (40)$$

### 2.6.1.2 Altura Neta (H)

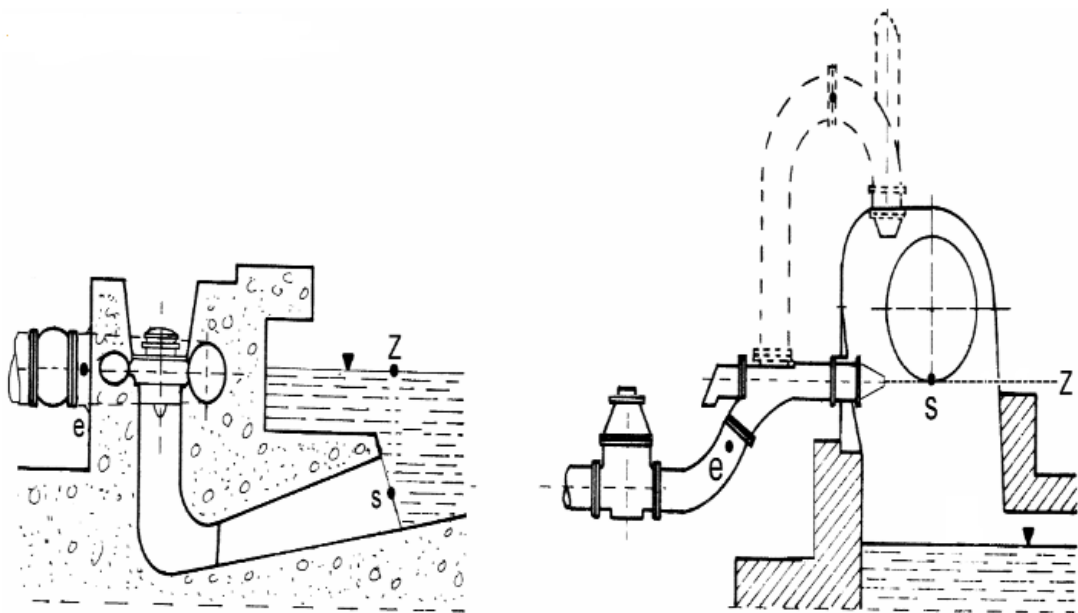
Es la energía o altura puesta a disposición de la turbina (6 pág. 40).

Se relaciona con la altura de Euler o altura útil según:  $H = H_u - H_{e-s}$

$H_{e-s}$  - pérdidas de energía entre la entrada y la salida de la turbina (6 pág. 40).

### 2.6.1.3 Normas Internacionales para la determinación de la Altura Neta

La sección de entrada e, se encuentra inmediatamente después de la válvula de admisión de la tubería forzada, antes del inyector en las turbinas Pelton y antes de la entrada al caracol en las turbinas de reacción (6 pág. 40).



**Ilustración 9-2:** Notación internacional para la ubicación de la entrada y salida de las turbinas, y de los niveles para la determinación de la altura neta.

**Fuente:** (8)

La sección de salida s, se encuentra en la sección de salida del tubo de aspiración en las turbinas de reacción y en el punto de tangencia del eje del chorro con un círculo de centro en el eje del rodete en las turbinas de acción (6 pág. 40).

La sección 1, corresponde a la entrada al rodete

La sección 2, corresponde a la salida del rodete

Como entre la entrada y la salida de la turbina se halla el rodete limitado por las secciones 1 y 2, se cumple que (6 pág. 40).

$$H_{e-s} = H_{e-1} + H_{1-2} + H_{2-s} \quad (41)$$

Luego:

$$H = H_u + H_{e-1} + H_{1-2} + H_{2-s} \quad (42)$$

Donde:

$H_{e-s}$  – pérdidas de energía hidráulicas en la turbina, entre la entrada y la salida.

$H_{e-1}$  – pérdidas de energía entre la entrada de la turbina y la entrada al rodete. En las turbinas de acción, se denominan pérdidas en el inyector. En las turbinas de reacción, pérdidas en el distribuidor.

$H_{1-2}$  – pérdidas de energía entre la entrada y la salida del rodete o al interior del rodete.

$H_{2-s}$  – pérdidas de energía entre la salida del rodete y la salida de la turbina. En las turbinas de reacción se denominan pérdidas en el tubo difusor. En turbinas de acción,  $H_{2-s} \approx \frac{c_s^2}{2g}$

Escribiendo la ecuación de Bernoulli entre la entrada (e) y la salida (s) de cualquier turbina:

$$\frac{V_e^2}{2g} + \frac{P_e}{\gamma} + Z_e - H_u = \frac{V_s^2}{2g} + \frac{P_s}{\gamma} + H_{e-s} \quad (43)$$

$$H_u + H_{e-s} = H = \frac{V_e^2 - V_s^2}{2g} + \frac{P_e - P_s}{\gamma} + (Z_e - Z_s) \quad (44)$$

Primera expresión de la altura neta (6 pág. 40).

Luego, la altura neta es la suma de las alturas totales entre la entrada y la salida de la turbina.

Por otro lado, escribiendo la ecuación de Bernoulli entre la superficie libre de la cámara de carga (A) y la superficie libre de salida del agua (Z) (6 pág. 41):

$$\frac{V_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\gamma} + Z_A - H_u = \frac{V_Z^2}{2g} + \frac{P_Z}{\gamma} + Z_Z + H_{A-Z} \quad (45)$$

Pero:  $H_{A-Z} = H_{A-e} + H_{e-s} + H_{s-Z} = H_{\text{perdidas externas}} + H_{e-s}$

Y, además:  $H = H_u + H_{e-s}$

Entonces (6 pág. 41).

$$\frac{V_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\gamma} + Z_A - H = \frac{V_Z^2}{2g} + \frac{P_Z}{\gamma} + Z_Z + H_{\text{Perdidas externas}} \quad (46)$$

También (6 pág. 42):

$$P_A = P_Z = P_{\text{atm}} \quad \text{y} \quad V_A \approx V_Z \approx 0 \quad (47)$$

Entonces (6 pág. 42):

$$H = (Z_A - Z_Z) - H_{\text{per.ext.}} \quad (48)$$

Llamando a  $(Z_A - Z_Z) = H_b$ , salto bruto o diferencia de cotas entre el punto más alto y más bajo de una central hidroeléctrica (GARCÍA, 2011).

Luego:

$$H = H_b - H_{\text{perd.ext}} \quad (49)$$

Segunda expresión de la altura neta.

Donde

$$H_{\text{perd.ext}} = H_{A-e} + H_{s-z} \quad (50)$$

Según lo anterior, la altura neta es la altura bruta menos las pérdidas de energía que ocurren en la tubería forzada y desde la salida de la turbina hasta el desagüe. En turbinas de reacción

$$H_{s-z} \approx C_s^2 / 2g$$

## 2.7 Pérdidas, potencias y rendimientos en turbinas

### 2.7.1 Pérdidas

Pueden ser: Pérdidas hidráulicas, pérdidas volumétricas y pérdidas mecánicas (6 pág. 42).

#### 2.6.1.4 Pérdidas hidráulicas



Tienen lugar desde la entrada de la turbina (e) hasta el distribuidor o el inyector; entre el distribuidor y el rodete y en el tubo de desagüe (6 pág. 42).

### 2.6.1.5 Pérdidas volumétricas

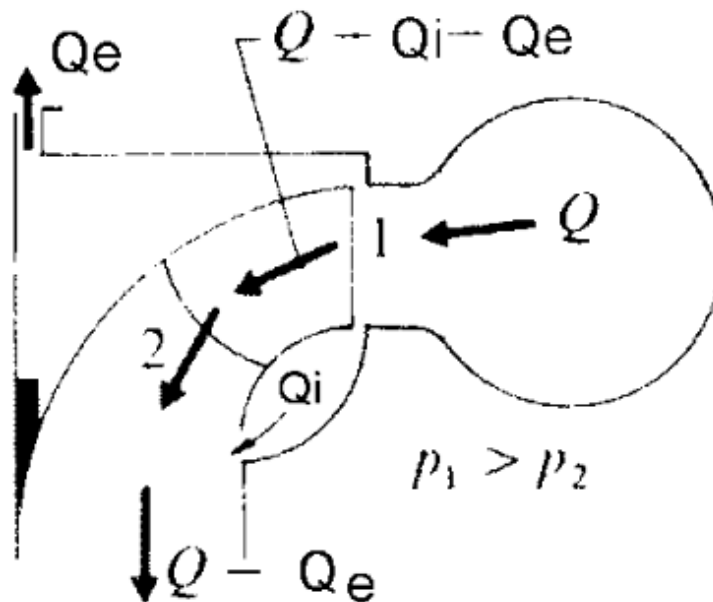
Se dividen en pérdidas interiores  $Q_i$  y en pérdidas exteriores  $Q_e$ .

El caudal  $Q_{ie}$  sigue por el juego entre la carcasa y el rodete en dirección del caudal principal pues  $p_1 > p_2$ ; este caudal no cede su energía al rodete, sino que se pierde en el exterior del rodete (6 pág. 42).

El caudal útil o turbinado que cede su energía al rodete es:

$$Q_t = Q - Q_e - Q_i$$

$Q$  – es el caudal suministrado a la turbina



**Ilustración 10-2:** Caudales que circulan a través del rodete de una turbina de reacción.

**Fuente:** (6 pág. 42)

Un simple cálculo del caudal entre las dos secciones de entrada y salida del álabe conduce a la obtención del caudal turbinado al interior de la máquina (6 pág. 42).

$$Q_t = A_1 C_{1m} = A_2 C_{2m} = \pi D_1 b_1 \tau_1 C_{1m} = \pi D_2 b_2 \tau_2 C_{2m} \quad (51)$$

### 2.6.1.6 Pérdidas mecánicas.

Se deben a la fricción entre elementos mecánicos tales como (6 pág. 43).

- Rozamiento entre los prensaestopas y el eje de la turbina
- Rozamiento del eje con los cojinetes.

## 2.7.2 Potencias

### 2.7.3.1 Potencia Teórica ( $P_a$ )

Potencia absorbida o neta o potencia hidráulica puesta a disposición de la turbina. Es la potencia que posee el líquido inmediatamente antes de ser utilizada por la turbina (6 pág. 43).

$$P = \gamma QH \quad (52)$$

### 2.7.3.2 Potencia Útil ( $P_a$ )

Potencia al freno, Potencia en el eje o Potencia restituida.

Es la potencia mecánica que entrega la turbina en el eje del generador (6 pág. 43).

$$P_a = M\omega = \frac{\pi}{30} n M \quad (53)$$

M – momento mecánico, se mide con un torquímetro (6 pág. 43).

n - velocidad angular del rodete, se mide con un cuentarrevoluciones.

### 2.7.3.3 Potencia Interna ( $P_i$ )

Potencia suministrada por la turbina descontando la potencia para vencer los rozamientos mecánicos (6 pág. 43).

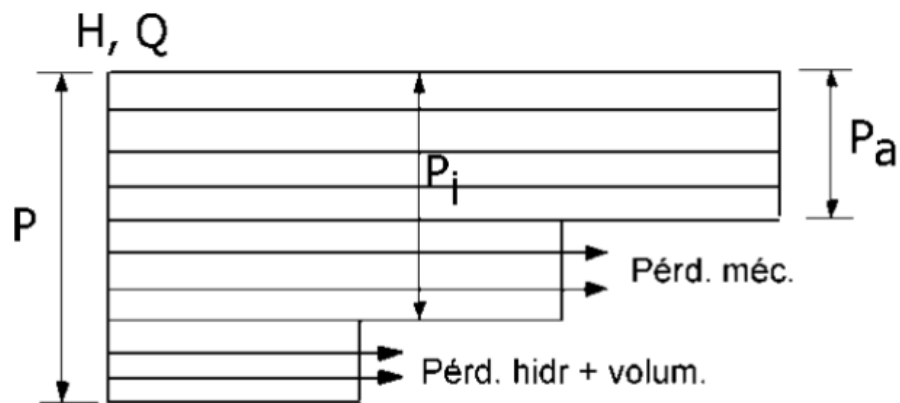
$$P_i = P_a + \text{Pérdidas de potencia mecánica} \quad (54)$$

O también:

$$P_i = P - \text{Pérdidas de potencia hidráulica y volumétrica} \quad (55)$$

$$P_i = \gamma Q_t H_u = \rho Q_t (u_1 C_{1u} - u_2 C_{2u}) = \gamma Q H \eta_v \eta_h \quad (56)$$

Esquemáticamente, las diversas potencias de las turbinas se relacionan según el siguiente diagrama de potencias (6 pág. 44).



**Ilustración 11-2:** Diagrama de potencias de una turbina.

Fuente: (6 pág. 44)

### 2.7.3 Rendimientos (eficiencias)

#### 2.7.3.4 Rendimiento Hidráulico ( $\eta_h$ )

Rendimiento Manométrico

De la turbina

$$\eta_h = \frac{H_u}{H} = \frac{u_1 C_{1u} - u_2 C_{2u}}{gH} \quad (57)$$

Del rodete

$$\eta_h = \frac{H_u}{H + H_{1-2}} = \frac{u_1 C_{1u} - u_2 C_{2u}}{g(H + H_{1-2})} \quad (58)$$

De la instalación

$$\eta_h = \frac{H_u}{H_b} = \frac{u_1 C_{1u} - u_2 C_{2u}}{gH_b} \quad (59)$$

#### 2.7.3.5 Rendimiento Volumétrico ( $\eta_v$ )

$$\eta_v = \frac{Q_t}{Q} = \frac{Q - Q_e - Q_i}{Q} \quad (60)$$

Q – caudal suministrado

Q – Q<sub>e</sub> – Q<sub>i</sub> – caudal útil o caudal turbinado

### 2.7.3.6 Rendimiento Interno ( $\eta_i$ )

$$\eta_i = \frac{P_i}{P} = \eta_h \eta_v \quad (61)$$

### 2.7.3.7 Rendimiento Mecánico ( $\eta_m$ )

Rendimiento Orgánico

$$\eta_m = \frac{P_a}{P_i} \quad (62)$$

### 2.7.3.8 Rendimiento Total ( $\eta$ )

$$\eta = \frac{P_a}{P} = \eta_h \eta_v \eta_m \quad (63)$$

En términos de los rendimientos se puede escribir:

$$P_a = P_i \eta_m = P \eta = \gamma Q H \eta \quad (64)$$

## 2.8 Líneas de Corriente y Patrones de Flujo

### 2.8.1 Patrón de Flujo:

Líneas a lo largo del campo de flujo indica la velocidad y la dirección del flujo. (9)

### 2.8.2 Líneas de Corriente:

Se definen como aquellas líneas del campo de flujo trazadas de tal manera que el vector velocidad del fluido en todos y cada uno de los puntos de la línea es tangente a la misma en cada instante. (9)

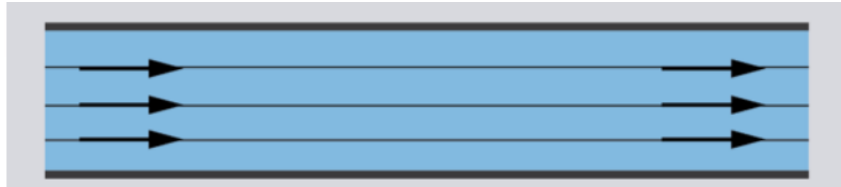
## 2.9 Regímenes de Flujo.

### 2.9.1 Flujo Uniforme:

La velocidad no cambia de un punto a otro de una línea de corriente, por lo que las líneas de corriente que describen este flujo deben ser rectas y paralelas. (9)

$$\frac{\partial V}{\partial s} = 0 \quad (65)$$

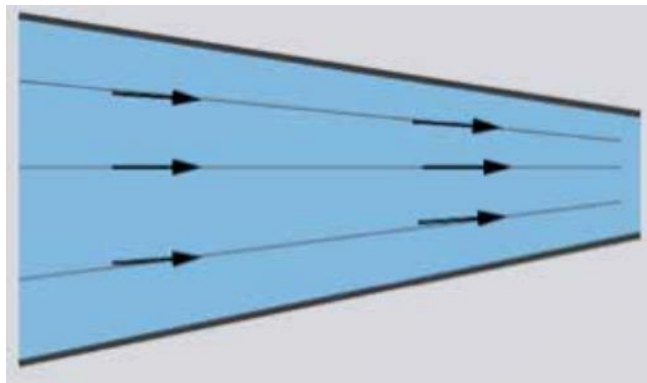
Donde: velocidad total de un punto dado de una línea de corriente  
s: distancia a lo largo de una línea de corriente. (9)



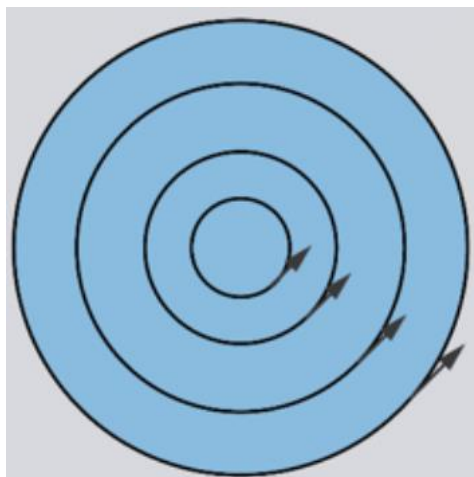
**Ilustración 12-2:** Patrón de flujo uniforme.  
Fuente: (10)

### 2.9.2 Flujo No Uniforme:

La velocidad cambia de un punto a otro de la línea de corriente, y, por tanto, el patrón de flujo está constituido por líneas de corriente que se curvan en el espacio o se hacen convergentes o divergentes. (9)



**Ilustración 13-2:** Flujo convergente  
Fuente: (10)



**Ilustración 14-2: Flujo Torbellino**  
**Fuente: (10)**

**2.9.3 Flujo Estacionario:**

Si en cualquier punto dado la velocidad no varía, ni en magnitud ni en dirección, al pasar el tiempo. (10)

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad (66)$$

Donde:

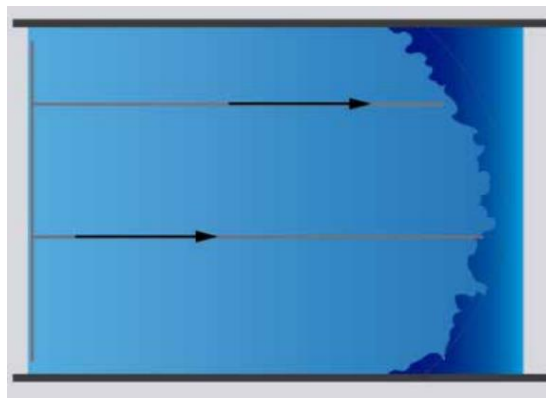
V: corresponde a la velocidad en un punto dado del campo de flujo

**2.9.4 Flujo Turbulento:**

Se caracteriza por la acción de mezclado en todo el campo. Este mezclado se debe a los remolinos o torbellinos de tamaño variable que se forman en el fluido. (10)

**2.9.4.1 Primer efecto:**

Los torbellinos hacen que el flujo se mezcle casi por completo la distribución de velocidades es más uniforme en la mayor parte de la sección transversal que en el caso del flujo laminar. Esto se debe a que el proceso de mezcla turbulenta transporta hacia el centro del tubo el fluido de baja velocidad que se encuentra cerca de las paredes, y las partículas de alta velocidad de la región central se transportan hacia las paredes. (10)



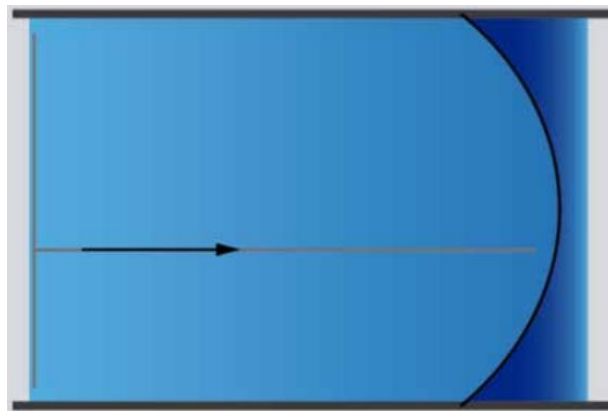
**Ilustración 15-2: Flujo Turbulento.**  
**Fuente: (10)**

**2.9.4.2 Segundo efecto:**

de la turbulencia es añadir continuamente componentes fluctuantes de velocidad al flujo. En un instante dado la distribución de los componentes de velocidad en la dirección del flujo es irregular. (10)

### 2.9.5 *Flujo Laminar:*

Carece del intenso fenómeno de mezclado y de los torbellinos que caracterizan al flujo turbulento, y tiene una apariencia muy suave. La distribución de velocidades es parabólica en cualquier sección dada, y a cualquier distancia dada de la pared del tubo la velocidad será constante respecto al tiempo. (10)



**Ilustración 16-2:** Flujo Laminar.  
Fuente: (10)

### 2.9.6 *Reynolds*

El comportamiento de un fluido, en particular en lo que se refiere a las pérdidas de energía, depende de que el flujo sea laminar o turbulento, como se demostrara después en este capítulo. Por esta razón se necesita un medio para predecir el tipo de flujo sin tener que observarlo en realidad. Mas aun, la observación directa es imposible para fluidos que van por tubos opacos. Se demuestra en forma experimental y se verifica de modo analítico, que el carácter del flujo en un tubo redondo depende de cuatro variables: la densidad del fluido  $\rho$ , su viscosidad  $\mu$ , el diámetro de tubo  $D$  y de la velocidad promedio del flujo  $v$ . Osborne Reynolds fue el primero en demostrar que es posible pronosticar el flujo laminar o turbulento si se conoce la magnitud adimensional, al que hoy se le denomina número de Reynolds ( $N_R$ ). La ecuación siguiente muestra la definición básica del número de Reynolds: (11)

$$N_R = \frac{v D \rho}{\mu} = \frac{v D}{\nu} \quad (67)$$

## 2.10 Pérdida de carga por fricción

Utilizando la metodología de los volúmenes de control - un cierto volumen en el interior del tubo, ubicado entre dos secciones perpendiculares a su eje, al que se aplica el principio de conservación de masa - Darcy y Weisbach derivaron la siguiente ecuación, válida tanto para flujos laminares como turbulentos, circulando en conductos de sección transversal arbitraria: (12 pág. 27)

$$h_f = f \left( \frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (68)$$

donde  $f$ , factor de fricción, es un número adimensional,  $L$  la longitud del tubo en m,  $D$  el diámetro del tubo en m,  $V$  la velocidad media en m/seg, y  $g$  la constante gravitacional (9,81 m/s<sup>2</sup>).

Si el flujo es laminar, el factor de fricción  $f$  puede calcularse matemáticamente mediante la ecuación: (12 pág. 27)

$$f = \frac{64\mu}{\rho V D} = \frac{64}{N_R} \quad (69)$$

Como se ve en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** el factor de fricción  $f$ , en régimen laminar, es independiente de la rugosidad de las paredes, e inversamente proporcional a  $N_R$ . El hecho de que  $f$  disminuya al aumentar  $N_R$ , no debe llevar al equivoco de pensar que la fricción disminuye con la velocidad. La pérdida de carga se obtiene sustituyendo  $f$  en la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** por su valor en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (12 pág. 28)

$$h_{f\text{lam}} = \frac{64\mu}{\rho V D} \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} = \frac{32\mu L V}{\rho g D^2} \quad (70)$$

por la que se ve que, en flujo laminar, la pérdida de carga unitaria es proporcional a  $V$  e inversamente proporcional al cuadrado del diámetro del tubo. (12 pág. 28)

Se observa que incluso para valores de  $N_R \gg 2000$ , correspondiente a un régimen francamente turbulento, en las inmediaciones de la pared del tubo existe una capa de fluido muy delgada conocida como subcapa laminar, cuyo espesor disminuye al aumentar  $N_R$ . Se dice que un tubo es hidráulicamente liso, cuando su rugosidad es inferior al espesor de esa subcapa. (12 pág. 28)



En tubos hidráulicamente lisos el factor de fricción  $f$  no viene afectado por la rugosidad del tubo. Von Karman, utilizando la ecuación logarítmica de la capa límite, encontró la siguiente ecuación que permite calcular  $f$ , en este régimen<sup>1</sup>. (12 pág. 28)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left( \frac{N_R \sqrt{f}}{2,51} \right) \quad (71)$$

Para valores muy altos de Reynolds, el espesor de la subcapa disminuye significativamente. Cuando este espesor es muy bajo, se observa que el factor de fricción es independiente de  $N_R$ , y depende exclusivamente de la rugosidad relativa  $e/D$ . En este régimen el tubo es hidráulicamente rugoso y Von Karman dedujo que, para este caso, el factor  $f$  se podía expresar por la siguiente ecuación: (12 pág. 28)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left( 3,7 \frac{D}{e} \right) \quad (72)$$

Entre estas dos situaciones, el tubo no es ni completamente liso ni completamente rugoso. Para cubrir esta zona de transición, Colebrook combinó, en 1939, la ecuación para tubos lisos con la del flujo dominado por la rugosidad, obteniendo: (12 pág. 28)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{e}{3,7 D} + \frac{2,51}{N_R \sqrt{f}} \right) \quad (73)$$

Estas fórmulas eran muy poco prácticas para cálculos de ingeniería, por lo que Moody, en 1944, las representó gráficamente en lo que es hoy la figura más útil de la dinámica de fluidos: el diagrama de Moody de pérdida de carga **Ilustración 17 – 2**. (12 pág. 29)

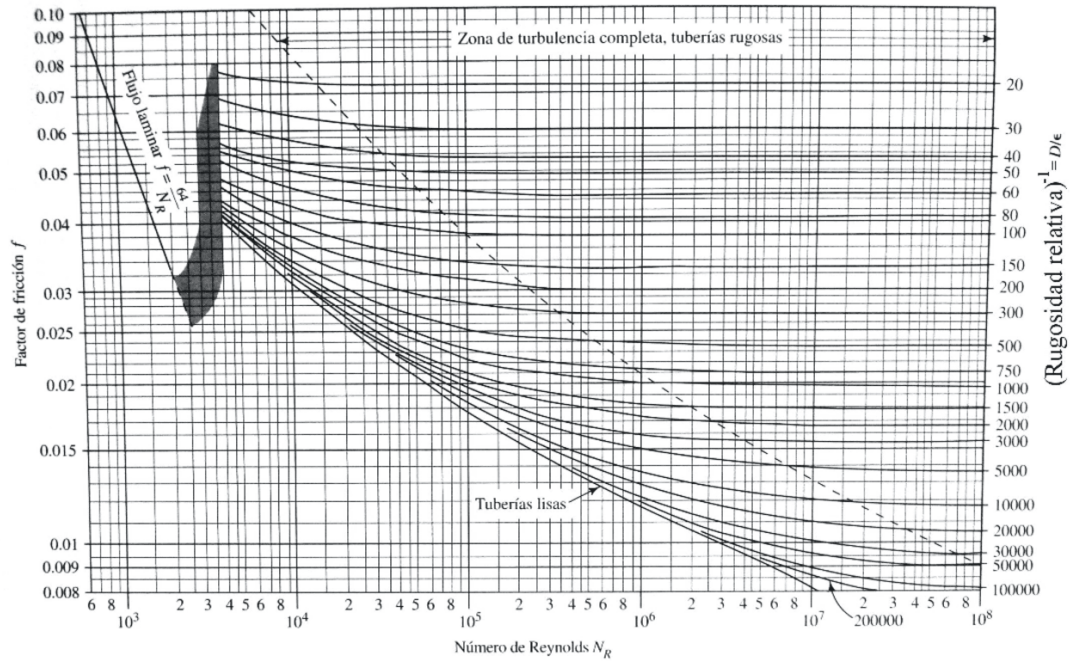


Diagrama de Moody. (Fuente: Pao, R. H. F. 1961. *Fluid Mechanics*. Nueva York: John Wiley e hijos, p. 284.)

### Ilustración 17-2: Diagrama de Moody

Fuente: (12 pág. 29)

En el diagrama se observan cinco zonas:

1. Una zona laminar en la que  $f$  es una función lineal del número de Reynolds ecuación (12 pág. 29)
2. Una zona crítica (sombreada) con definición algo confusa, en la que el régimen no es ni turbulento ni laminar y en la que no se encuentran valores de  $f$
3. Una zona de transición en la que  $f$  depende del número de Reynolds y de la rugosidad ecuación (12 pág. 29)
4. Una zona, correspondiente al tubo hidráulicamente liso ecuación (12 pág. 29)
5. Una zona plenamente turbulenta en la que  $f$  depende solamente del valor  $e$  de la rugosidad ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** (12 pág. 29)

Swamee-Jain

El cálculo realizado es directo, sin iteraciones. Se puede catalogar como una ecuación explícita para el cálculo del factor de fricción. La ecuación ofrece resultados muy parecidos a la de Colebrook-White (12 pág. 29).

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left( \frac{e}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right)\right]^2} \quad (74)$$

A partir de ensayos realizados con tubos comerciales, Moody halló los valores típicos de rugosidad  $e$ . Estos valores, son los que figuran en la *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.* – **1**:

**Tabla 3-2:** Altura de rugosidad,  $e$ , para diversos tubos comerciales

Clase de tubo	he(mm)
Tubería de polietileno	0,003
Tubería de fibra de vidrio con resina epoxi	0,003
Tubería de acero estirado sin costura	0,025
Tubería de acero soldado	0,6
Tubería de hierro fundido con barniz centrifugado	0,12
Tubería de uralita	0,025
Tubería de duelas de madera	0,3
Tubería de hormigón colado in situ/encofrado metálico	0,36
Tubería de hormigón prefabricado	0,3 - 3,0

**Fuente:** (12 pág. 30)

**Realizado por:** Padilla, Byron, 2021

### 2.10.1 Pérdidas en las rejillas de limpieza

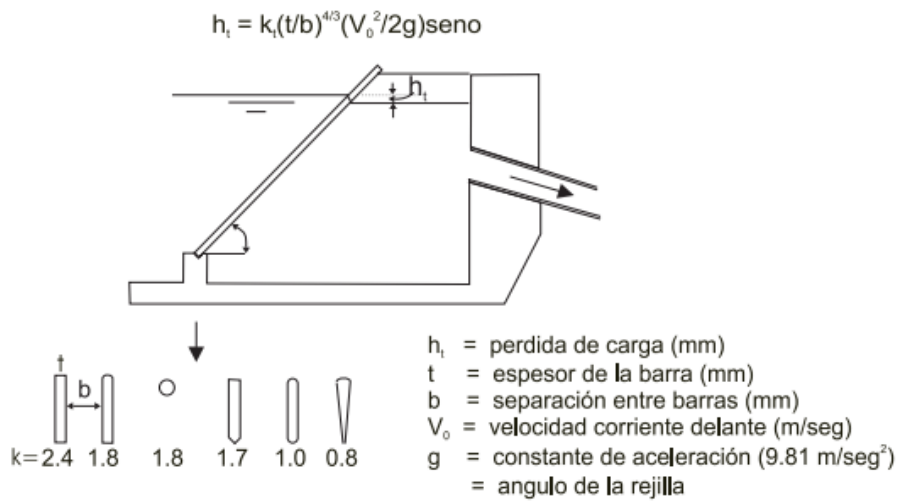
A la entrada de la toma de agua y en la cámara de carga, a la entrada de la tubería forzada, suele instalarse una rejilla para impedir el paso de la broza. El agua al atravesar la rejilla, genera una turbulencia que se traduce en una pérdida de carga. Aunque generalmente pequeña, esta pérdida de carga se calcula por la ecuación de Kirchner, cuyos parámetros viene definidos en la

**Ilustración 18 - 2.** (12 pág. 37)

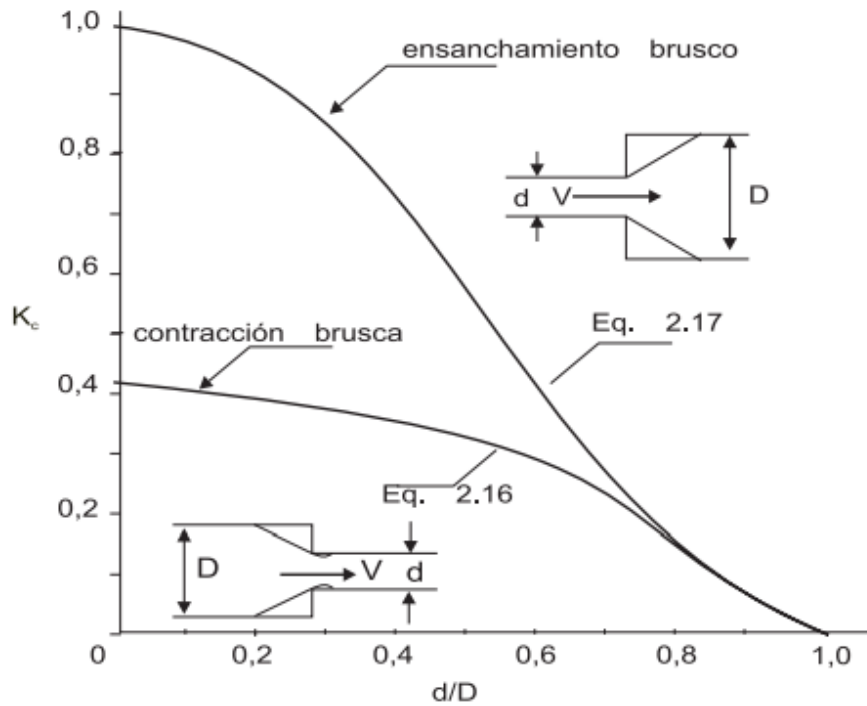
$$h_t = K_t \left( \frac{t}{b} \right)^{4/3} \left( \frac{V_0^2}{2g} \right) \sin \phi \quad (75)$$

Si la reja no es perpendicular al flujo de la corriente, sino que forma con ella un ángulo  $\beta$  (el valor máximo de  $\beta$  sería de  $90^\circ$ , cuando la reja esté situada en la pared de un canal) se producirá una pérdida de carga adicional que viene dada por la ecuación (12 pág. 37)

$$h_\beta = \frac{V_0^2}{2g} \sin \beta \quad (76)$$



**Ilustración 18-2:** Pérdidas en las rejillas de limpieza  
 Fuente: (12 pág. 37)



**Ilustración 19-2:** Velocidad media en el tubo de menor diámetro  
 Fuente: (12 pág. 38)

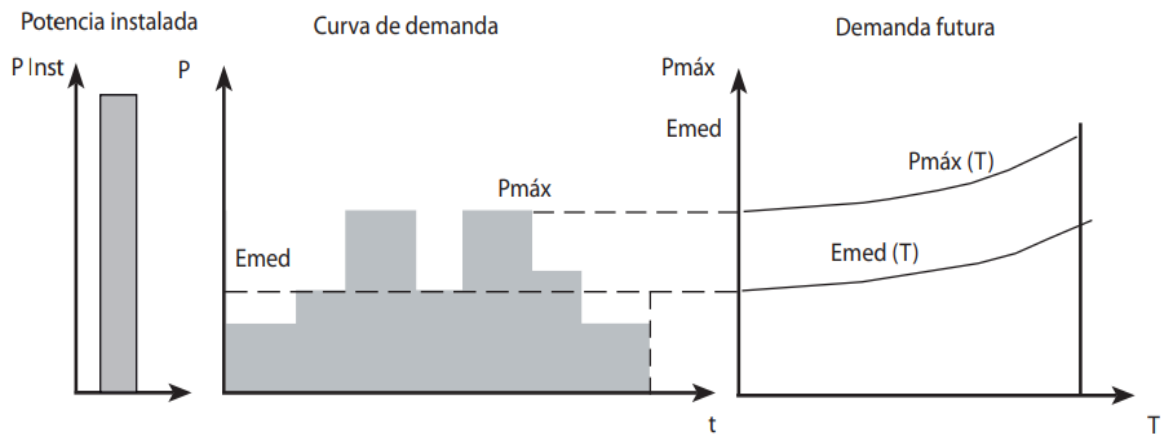
### 2.11 Demanda de energía eléctrica

Para una comunidad aislada el análisis de la demanda de energía eléctrica es una de las piezas fundamentales para determinar el consumo actual por potencia y energía de la población y la demanda futura para un periodo de T años. Esta proyección debe tener en cuenta que un periodo prolongado acarrea mayores costos en los diseños y la construcción; por tal motivo el periodo de

proyección es un criterio del diseñador para satisfacer las necesidades energéticas de la comunidad, el cual debe estar en armonía con la disponibilidad energética del recurso hídrico. Es importante señalar que para una PCH embebida dentro de un sistema energético tiene mayor relevancia los réditos económicos que ésta trae por la venta de energía, por tal motivo para ella la evaluación de la demanda de energía no adquiere mayor importancia. Es usual que para realizar la evaluación de la demanda de energía de una comunidad aislada la información sea escasa, esto hace que quien realiza el estudio de demanda recurra a información del uso actual de otros energéticos y de futuras aplicaciones de la energía eléctrica. Adicionalmente se deben conocer aspectos administrativos, demográficos y socio económicos, dentro de los cuales destacamos: nombre del pueblo o corregimiento, ubicación, características de pueblo (urbano y/o rural), viviendas (número de viviendas, características de la vivienda, número de habitantes, entre otros), vías de acceso y medios de transporte, tipo de comunidad (indígena, afro descendiente y otras), líderes de la comunidad, organizaciones comunitarias e industriales, migración y emigración, natalidad y mortalidad, nivel cultural, entre otros. (13) En todo caso el estudio debe orientarse a conocer la capacidad instalada, la curva de demanda y la proyección de la demanda máxima proyectada de la comunidad, Ilustración 20-2: **Potencia** instalada, curva de demanda de la comunidad durante un día típico y proyección por potencia y por energía de la comunidad durante T años

aspectos que hacen referencia a:

- **Capacidad instalada.** Esta representa la sumatoria de las potencias instaladas de la comunidad para atender demandas de tipo residencial, industrial, servicios públicos, entre otros; en ella se identifican los instrumentos eléctricos y su potencia. (4 pág. 32)
- **La curva de demanda.** Esta refleja el uso de los equipos eléctricos durante un día representativo, indicándonos el uso de estos dentro de un horario, y reflejándose como el consumo de un día típico; de ella se extrae la demanda máxima (pico) por potencia y por energía. (4 pág. 32)
- **Demanda futura.** Esta corresponde a la proyección de la demanda máxima por potencia y por energía de un día representativo proyectada en un periodo de Taños, que el diseñador ha establecido; para ello debe tener en cuenta información de natalidad, mortalidad, migración, emigración, perspectivas de desarrollo de la comunidad, entre otros. (4 pág. 32)



**Ilustración 20-2:** Potencia instalada, curva de demanda de la comunidad durante un día típico y proyección por potencia y por energía de la comunidad durante T años

**Fuente:** (4 pág. 32)

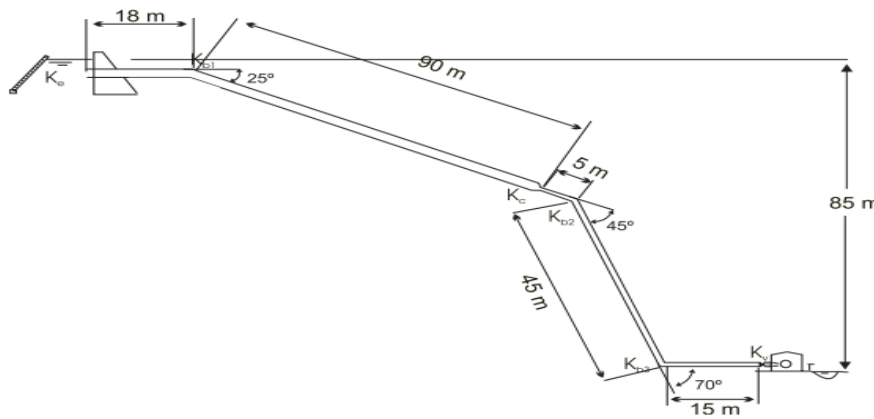
Dado que el estudio de demanda es más riguroso para las comunidades aisladas, previo a su realización se debe clasificar la comunidad de acuerdo con la disponibilidad de energía eléctrica:

- La comunidad no ha tenido servicio de energía eléctrica.
- La comunidad ha tenido servicio de energía eléctrica con un grupo de combustión interna.
- La comunidad dispone de energía eléctrica con un grupo de combustión interna.

## 2.12 Presión del agua o salto

### 2.12.1 Medida del salto bruto

El salto bruto es la distancia vertical  $H$ , entre los niveles de la lámina de agua, medidos en la toma de agua y en el canal de descarga. Para medir con exactitud esa distancia, se recomienda emplear un nivel y una mira de agrimensor, aunque hoy en día se puede medir con teodolitos electrónicos, que resultan de extremada precisión y gran facilidad de manejo. Para saltos importantes, mayores por ejemplo de 100 metros, se puede obtener un valor aceptable del salto bruto mediante un alfiler topográfico, cuidadosamente corregido en función de la temperatura y presión atmosférica, locales. Como la potencia del salto es proporcional a  $H^{3/2}$ , un error del 5% en la medida del salto resultará en un error del 7,6% en la potencia estimada de la central, de forma que, salvo para una primera estimación, se recomienda emplear siempre el nivel de agrimensor o los aparatos topográficos electrónicos. (12 pág. 73)



**Ilustración 21-2:** Medida de salto Bruto

**Fuente:** (12 pág. 74)

### 2.12.2 Evaluación del salto neto

Conocido el valor del salto bruto, es necesario estimar las pérdidas por fricción y turbulencia, estudiadas con detalle en el capítulo 2. Para clarificar la situación vamos a estimar esas pérdidas en un caso teórico, pero bastante frecuente, como el representado en la **Ilustración 21 - 2**

## 2.13 Cavitación en turbinas

### 2.14.1 Cavitación

Fenómeno que se produce cuando la presión del fluido en una determinada zona del movimiento desciende por debajo del valor de la presión de vapor del fluido a una determinada temperatura. Se produce en estructuras estáticas (tuberías, venturímetros, etc.) o en máquinas hidráulicas (a la entrada del rodete de una bomba o a la salida del rodete de una turbina)



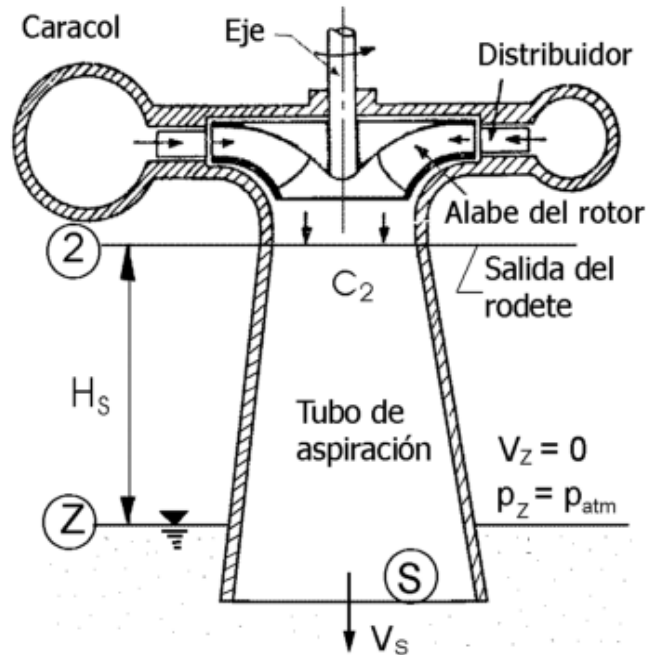
**Ilustración 22-2:** Turbina Francis, daños por cavitación y reparaciones antiguas con soldadura de acero inoxidable

**Fuente:** (8)

### 2.14.2 Cavitación en turbinas

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre 2 y Z:

$$\frac{C_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 = \frac{C_z^2}{2g} + \frac{P_z}{\gamma} + Z_z + H_{2-z} \quad (77)$$



**Ilustración 23-2:** Altura del tubo difusor,  $H_s$ , para evitar la cavitación.

Fuente: (6)

Despejando la presión a la salida del rodete y considerando valores absolutos de presión se tiene:

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - Z_2 - \frac{C_2^2}{2g} + H_{2-z} \quad (78)$$

Teóricamente, la presión a la salida del rodete  $P_2$  puede bajar hasta  $P=0$  (absoluta); sin embargo, no es conveniente que baje demasiado como para igualar o ser menor que el valor de la presión de vapor del líquido ( $p_v$ ), pues de lo contrario se produciría la ebullición del líquido, lo cual daría inicio a la cavitación.

Analizando la ecuación anterior, el peligro de cavitación será mayor si el valor de  $p_2$  es menor y esto ocurre cuando:

- a) La  $p_{atm}$  es menor, dependiendo del lugar.



- b) La velocidad a la salida del rodete  $C_2$  sea mayor.
- c) La altura  $Z$  sea mayor.
- d) Las pérdidas de energía  $H_{2-z}$  sean menores.

Para el control de la cavitación se diseña la maquina controlando los valores de  $C_2$ ,  $Z_2$ ,  $H_{2-z}$ , etc.

Y si se permite que en algún caso haya cavitación entonces se usan materiales resistentes a la cavitación; por ejemplo, acero inoxidable (Cr 18%, Ni 8%).

Llamando a  $Z_2= H_s$ = altura de aspiración o de succión entonces:

De la ecuación anterior se evidencia que el tubo de aspiración:

- Recupera la altura de aspiración creando una presión a la salida del rodete (función aspiradora). Gasta la altura de elevación para convertirla en presión hasta  $p_{atm}$ .
- Recupera la energía cinética a la salida del rodete creando una depresión a la salida del mismo (función difusora).

Los experimentos llevados a cabo por Thoma en modelos hidráulicos demostraron que, para que no exista cavitación se debe cumplir que:

$$H_{smax} < -\left(\frac{C_2^2}{2g} - H_{2-z}\right) + \left(\frac{P_{atm} - P_v}{\gamma}\right) \quad (79)$$

Haciendo:

$$\left(\frac{C_2^2}{2g} - H_{2-z}\right) = \sigma H \quad (80)$$

Entonces:

$$H_{smax} < -\sigma H + \left(\frac{P_{atm} - P_v}{\gamma}\right) \quad (81)$$

Formula de Thoma

Donde:

$\sigma$  - es el coeficiente de cavitación de Thoma

$p_v$ - Presión de vapor del agua a T °C

$p_{atm}$ - Presión atmosférica local

$H_{smax}$ - Valor máximo de  $H_s$  para que no se produzca cavitación.

De la ecuación de Thoma se observa que cuanto mayor es el salto neto  $H$ , menor será la altura de aspiración  $H_s$ ; pero en la práctica, para que la columna de agua no se despegue de las paredes del tubo difusor el valor de  $H_s$  tiene que ser menor de 6 m en las turbinas Francis y menor de 4 m en las Kaplan y de Hélice.

Cuanto más rápida es la turbina ( $n_s$  grande) mayor es el peligro de cavitación, por tanto, este peligro es mayor en las turbinas Kaplan que en las Francis y en éstas que en las Pelton. Si se desea construir una turbina muy rápida sin el peligro de la cavitación, el coeficiente de Thoma será grande y para ello, al no poder modificarse  $p_{atm}/\gamma$ , convendrá disminuir  $H$ . El tubo de aspiración acodado permite disminuir  $H$  contando con suficiente longitud para realizar la recuperación de energía cinética.

La altura de succión  $H_s$  puede ser positiva o negativa, es positiva si el desagüe se encuentra por debajo del rodete, negativo en caso contrario como suele suceder en lugares elevados donde la presión atmosférica es pequeña.

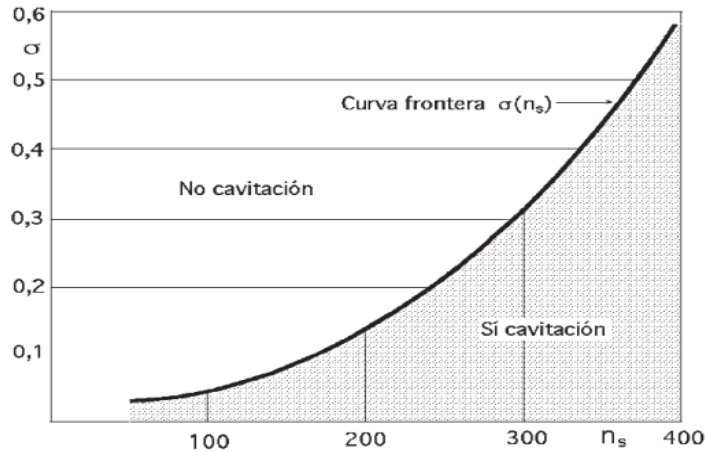
### 2.14.3 Valores del coeficiente de Thoma

**Tabla 4-2:** Valores del coeficiente de Thoma en función del número específico de revoluciones

$n'_s$	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700	800
$\sigma$	0,04	0,05	0,08	0,13	0,22	0,31	0,45	0,60	0,70	0,90	1,5	2,1
	Francis lenta		Francis normal		Francis rápida		Francis exprés		Hélice y Kaplan			
$n'_s$	0	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$\sigma$	0	0,02	0,05	0,11	0,21	0,35	0,53	0,75	1,15	1,60	2,0	2,3

Fuente: (14).

Realizado por: Padila, Byron, 2022.



**Ilustración 24-2:** Coeficiente de Thoman  
Fuente: (14)

SCHAPOV:

$$\sigma = \frac{(0,01n_s - 0,54)^2}{45} \quad \text{para } 70 < n_s < 80 \quad (82)$$

U.S.B.R.:

$$\sigma = \frac{n_s^{1,64}}{50\,327} \quad (83)$$

## 2.14 Turbinas hidráulicas

Las turbinas son máquinas hidráulicas que tienen como misión transformar la energía potencial y cinética del agua en energía mecánica de rotación. Se pueden clasificar en dos grupos: turbinas de acción y turbinas de reacción. (15 pág. 8)

### 2.14.1 Clasificación de las turbomáquinas hidráulicas

Una primera clasificación de las turbomáquinas hidráulicas, (de fluido incompresible), se puede hacer con arreglo a la función que desempeñan, en la forma siguiente:

- a) Turbomáquinas motrices, que recogen la energía cedida por el fluido que las atraviesa, y la transforman en mecánica, pudiendo ser de dos tipos:

Dinámicas o cinéticas, Turbinas y ruedas hidráulicas Estáticas o de presión, Celulares (paletas), de engranajes, helicoidales, etc.

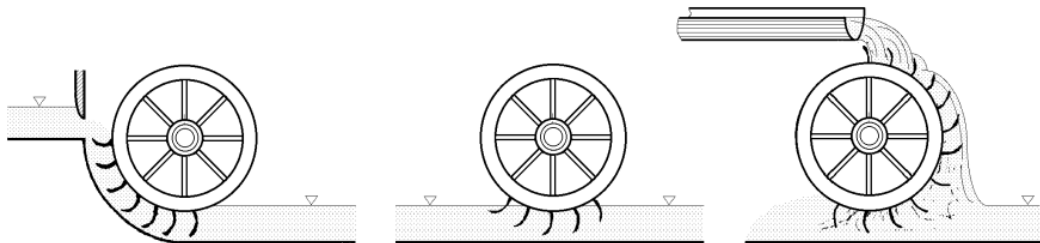
- b) Turbomáquinas generatrices, que aumentan la energía del fluido que las atraviesa bajo forma potencial, (aumento de presión), o cinética; la energía mecánica que consumen es suministrada por un motor, pudiendo ser: Bombas de álabes, entre las que se encuentran las bombas centrífugas y axiales Hélices 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 mares motrices
- 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. (16 pág. 1)

### 2.14.2 Ruedas hidráulicas.

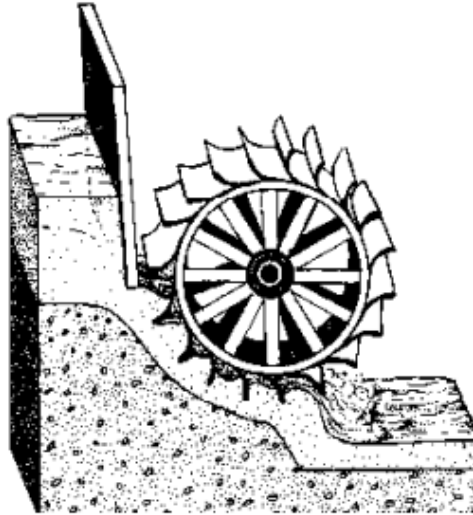
Las ruedas hidráulicas son máquinas capaces de transformar la energía del agua, cinética o potencial, en energía mecánica de rotación. En ellas, la energía potencial del agua se transforma en energía mecánica, como se muestra en la **Ilustración 25; Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, o bien, su energía cinética se transforma en energía mecánica, como se indica en las **Ilustración 25**. (16 pág. 2)

Se clasifican en:

- a) Ruedas movidas por el costado
- b) Ruedas movidas por debajo
- c) Ruedas movidas por arriba



**Ilustración 25-2:** a, b, c  
**Fuente:** (16 pág. 2)



**Ilustración 26-2:** Rueda movida por el costado  
**Fuente:** (16 pág. 2)

Su diámetro decrece con la altura  $H$  del salto de agua. Los cangilones crecen con el caudal. 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, siendo pequeñas si se las compara con las potencias de varios cientos de MW conseguidas en las turbinas. (16 pág. 3)

### **2.14.3 Turbinas hidráulicas**

Una turbomáquina elemental o mono celular 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 mono celular se compone de tres órganos diferentes que el fluido va atravesando sucesivamente, el distribuidor, el rodete y el difusor. (16 pág. 3)

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. (16 pág. 3)

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 de hélice-centrípetas y en las axiales está precedido de una cámara espiral (voluta) que conduce el agua

desde la sección de entrada, asegurando un reparto simétrico de la misma en la superficie de entrada del distribuidor. (16 pág. 3)

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. Atendiendo a que la presión varíe o no en el rodete, las turbinas se clasifican en:

- a) Turbinas de acción o impulsión
- b) Turbinas de reacción o sobrepresión

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. (16 pág. 3)

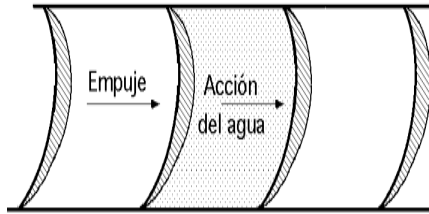
En las turbinas de reacción el agua sale del distribuidor con una cierta presión que va disminuyendo a medida que el agua atraviesa los álabes del rodete, de forma que, a la salida, la presión puede ser nula o incluso negativa; en estas turbinas el agua circula a presión en el distribuidor y en el rodete y, por lo tanto, la energía potencial del salto se transforma, una parte, en energía cinética, y la otra, en energía de presión. (16 pág. 3)

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. (16 pág. 3)

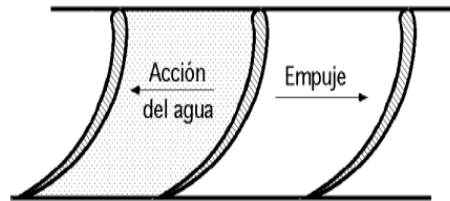
En las turbinas de acción, el empuje y la acción del agua, coinciden, mientras que, en las turbinas de reacción, el empuje y la acción del agua son opuestos. Este empuje es consecuencia de la diferencia de velocidades entre la entrada y la salida del agua en el rodete, según la proyección de la misma sobre la perpendicular al eje de giro. (16 pág. 3)

Atendiendo a la dirección de entrada del agua en las turbinas, éstas pueden clasificarse en:

- a) Axiales; b) Radiales (centrípetas y centrífugas); c) Mixtas; d) Tangenciales



**Ilustración 27-2: Acción**  
 Fuente: (16 pág. 4)



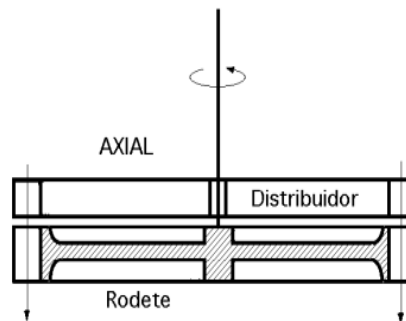
**Ilustración 28-2: Reacción**  
 Fuente: (16 pág. 4)

En las axiales, (Kaplan, hélice, Bulbo), el agua entra paralelamente al eje, tal como se muestra en la Ilustración 29-2: Turbina axial

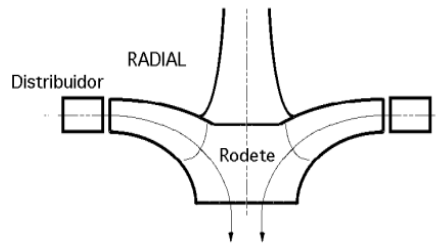
En las radiales, el agua entra perpendicularmente al eje, Ilustración 30, siendo centrífugas cuando el agua vaya de dentro hacia afuera, y centrípetas, cuando el agua vaya de afuera hacia adentro, (Francis).

En las mixtas se tiene una combinación de las anteriores.

En las tangenciales, el agua entra lateral o tangencialmente (Pelton) contra las palas, cangilones o cucharas de la rueda, **Ilustración 30**

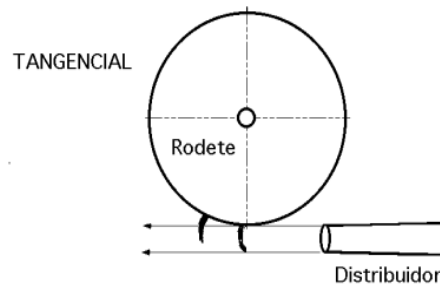


**Ilustración 29-2: Turbina axial**  
 Fuente: (16 pág. 4)



**Ilustración 30-2:** Turbina radia

Fuente: (16 pág. 4)



**Ilustración 31-2:** Turbina tangencial

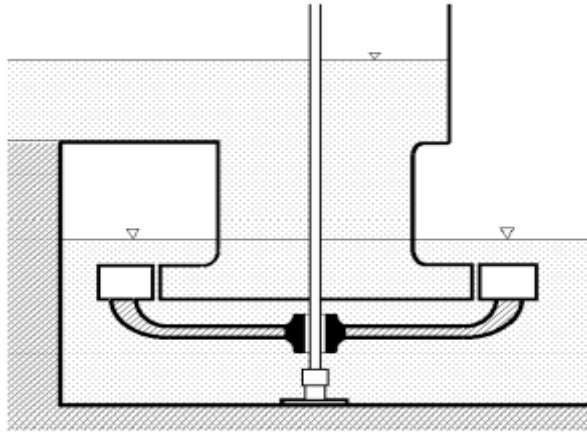
Fuente: (16 pág. 4)

#### 2.14.4 Descripción sumaria de algunos tipos de turbias hidráulicas

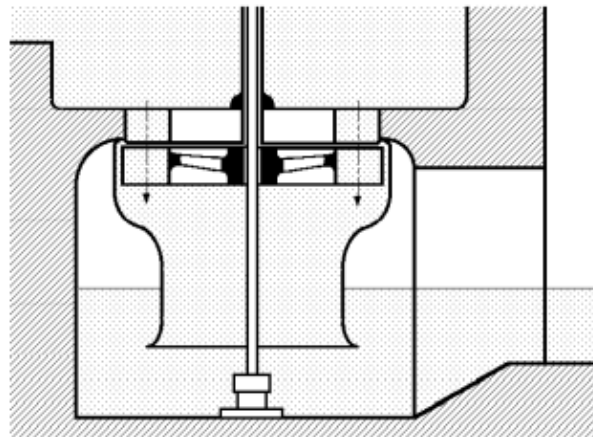
##### 2.5.4.1 Turbinas de reacción

- Turbina Fourneyron (1833), Ilustración 32 La primera turbina fue inventada en Francia en 1826, por el ingeniero Benoit Fourneyron (1802-1867) motivado por el concurso convocado por una sociedad científica que estimulaba el desarrollo de la industria nacional de Francia, y obteniendo el premio del "mejor diseño industrial de la rueda hidráulica, con su diseño denominado Turbina Fourneyron, adoptando la palabra turbina concebida por su profesor Burdin, su diseño consistía en dos ruedas hidráulicas concéntricas (la rueda interior era estacionaria y la rueda exterior era móvil), Benoit Fourneyron, predijo que su máquina alcanzaría una eficiencia del 80% pero cuando fue construida y puesta en marcha en 1827, debido a la disminución. de la carga, el flujo centrifugo provocó inconvenientes no consiguiendo su objetivo; posteriormente la turbina fue mejorada y en 1835 fue instalada la primera turbina Fourneyron para uso industrial. (17 pág. 15)
- Turbina Heuschel-JonVal, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, axial, y con tubo de aspiración; el rodete es prácticamente inaccesible; en la actualidad no se construye.

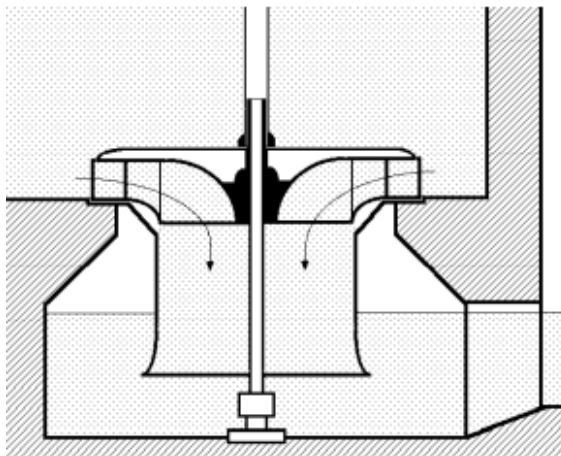




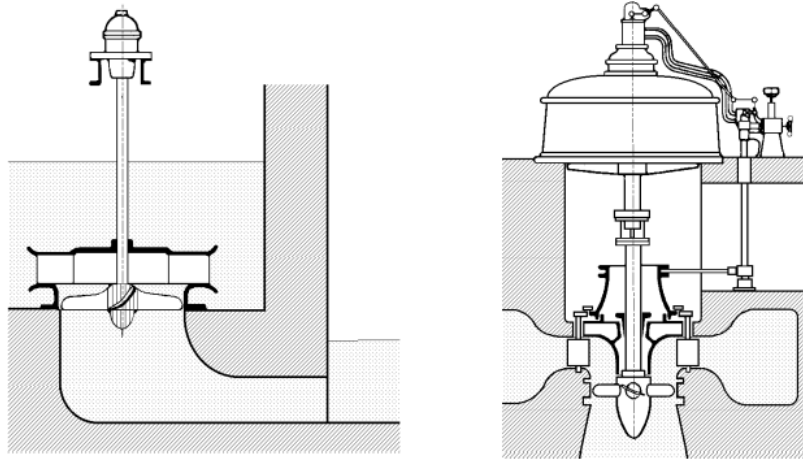
**Ilustración 32-2:** Turbina Fourneyron  
**Fuente:** (16 pág. 15)



**Ilustración 33-2:** Turbina Heuschel-JonVal  
**Fuente:** (16 pág. 4)



**Ilustración 34-2:** Turbina Francis  
**Fuente:** (16 pág. 4)



**Ilustración 35-2:** Turbinas Kaplan

**Fuente:** (16 pág. 4)

- Turbina Francis (1849), Ilustración 34-2: **Turbina** Francis
- La turbina Francis se caracteriza por ser de presión variable en las zonas del rodete ya que éste se encuentra sometido a la influencia directa del agua en toda su periferia, por ser una turbina de reacción, las cuales tienen esta peculiaridad. Otra característica es que tiene un buen rendimiento, esto sucede cuando se tiene un caudal cercano del 60 % al 100 % del caudal máximo. (18 pág. 14)

Las turbinas Francis pueden ser instaladas con el eje en posición vertical siendo esta disposición la más generalizada ya que en cuestión de diseño es económica por el espacio que se usa para su instalación, especialmente en el caso de unidades de gran potencia. También puede ser instalada con el eje en posición horizontal, todas estas disposiciones dependen de las características de diseño que se requieran. (18 pág. 14)

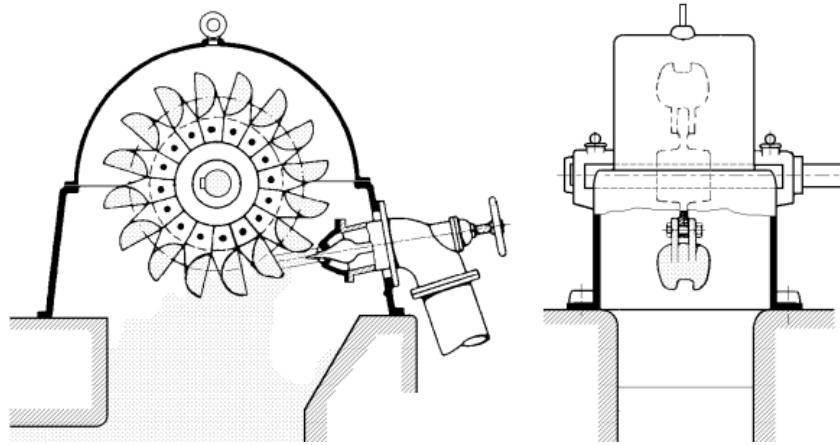
- Turbina Kaplan (1912), Ilustración 35-2: **Turbinas** Kaplan
- En estas turbinas las palas del rodete tienen forma de hélice y se emplea en saltos de pequeña altura, pero grandes caudales, esta turbina es la más eficiente de todas ya que con ella se da grandes rendimientos (hasta 95% aproximadamente), las palas o álabes son orientables lo que implica un mejor posicionamiento de estas para un mejor ingreso de flujo, este movimiento es manejado mediante un servomecanismo que hace innecesario la instalación de álabes guía o distribuidores. (18 pág. 12)

#### 1.3.4.1 Turbinas de acción

Estas turbinas se empezaron a utilizar antes que las de reacción; entre ellas se tienen:

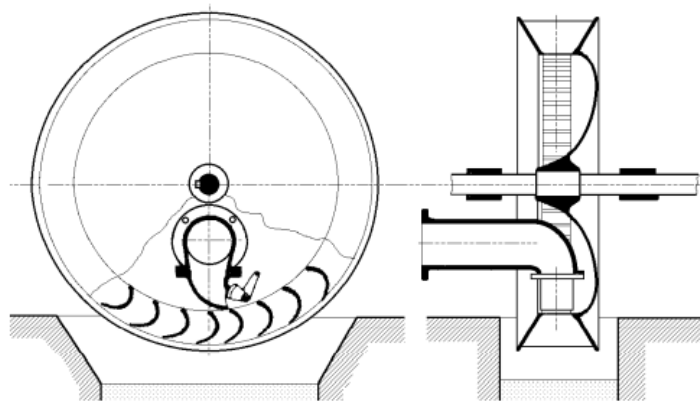
- Turbina Zuppinger (1846), con rueda tangencial de cucharas

- Turbina Pelton, Ilustración 36-2: **Turbina Pelton**
- , es tangencial, y la más utilizada para grandes saltos

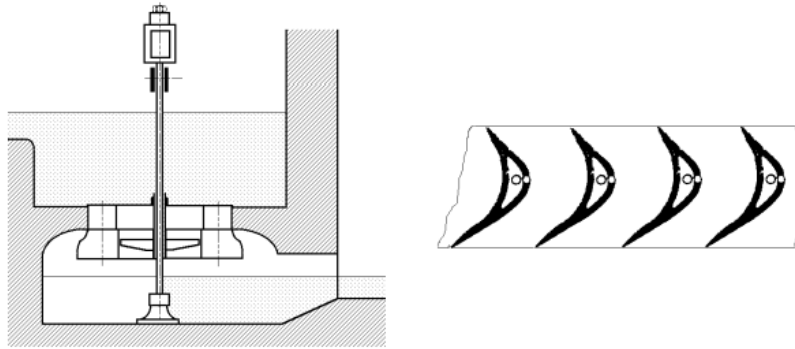


**Ilustración 36-2:** Turbina Pelton  
Fuente: (16 pág. 5)

- Turbina Schwamkrug, (1850), Es una turbina radial y centrífuga como se indica en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que provocan un rendimiento desde del interior hacia el exterior del fluido generando una eficiencia alta. (19 pág. 14)
- Turbina Girard, (1863), **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, axial, con el rodete fuera del agua; mientras el cauce no subía de nivel, trabajaba como una de acción normal, mientras que, si el nivel subía y el rodete quedaba sumergido, trabajaba como una de reacción, aunque no en las mejores condiciones; en la actualidad no se utiliza. (19 pág. 14)

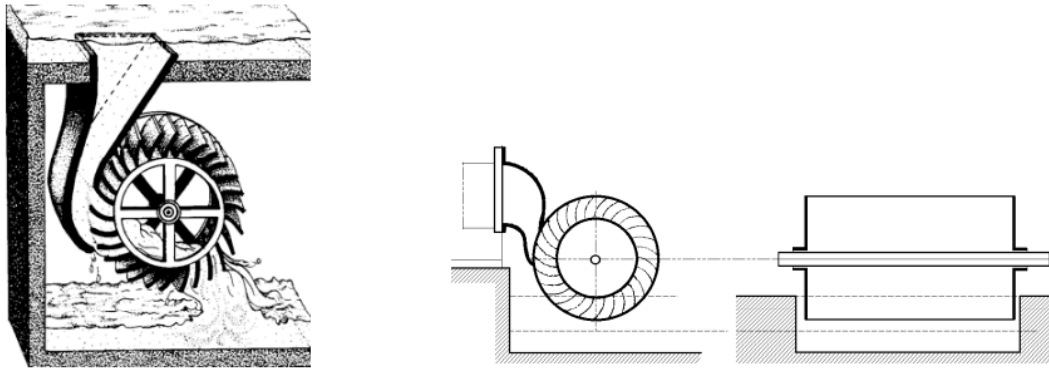


**Ilustración 37-2:** Turbina Schwamkrug  
Fuente: (16 pág. 5)



**Ilustración 38-2:** Turbina Girard  
**Fuente:** (16 pág. 6)

- Turbina Michell, o Banki El rodete está formado por álabes que permiten al agua pasar dos veces, generando amplios rangos de caudal como se indica en la **Ilustración 38**, es construido para la implementación de agricultura o suministro de agua en la actualidad. (19 pág. 15)



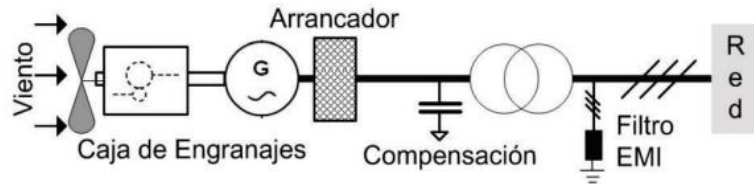
**Ilustración 39-2:** Turbina Michel o Bank  
**Fuente:** (19 pág. 15)

## 2.15 Tipo de Generadores

### 2.15.1 Generador de Inducción, Rotor de Jaula, Banco de Capacitores y Arrancador

Este es el concepto convencional de las turbinas Danesas usado en las décadas del 80 y 90. En este sistema el rotor de la turbina eólica se encuentra acoplado al eje del generador a través de una caja de engranajes de relación fija, en la Ilustración 40. El generador es de inducción con rotor de jaula. Algunos generadores de inducción usan configuraciones de bobinados de polos ajustables para permitir una operación a distintas velocidades sincrónicas. En cualquier punto de operación esta configuración tiene que funcionar a velocidad constante. El inconveniente principal de este esquema es el sistema mecánico. El tiempo de respuesta de estos sistemas mecánicos está en el orden de varias decenas de milisegundos. Como consecuencia, cada vez que una ráfaga de viento golpea la turbina, se puede observar a la salida, una rápida y fuerte variación

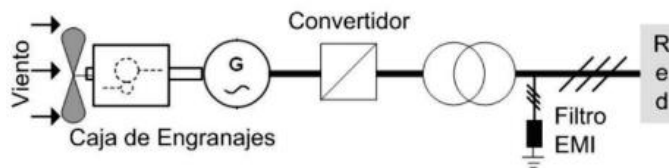
de la potencia generada. La mejora de los circuitos mecánicos lleva a elevados costos de construcción de este tipo de sistemas. Durante la década del 80 se agregaron al concepto básico, un banco de capacitores para compensar potencia reactiva y un arrancador para aquellas turbinas conectadas a redes débiles. (20)



**Ilustración 40-2:** GI con Banco de Capacitor  
Fuente: (20)

### 2.15.2 Generador de Inducción, Rotor de Jaula y Convertidor de Frecuencia

En este sistema se emplea un generador de inducción para producir corriente alterna de frecuencia variable, que luego es convertida en corriente alterna de frecuencia fija por medio de un convertidor de potencia conectado en serie con el generador, Ilustración 41. La ventaja de emplear este convertidor es que permite una variación de la velocidad del generador en función de las variaciones de velocidad del viento. Las desventajas más importantes de este sistema son las siguientes: el convertidor de potencia debe convertir el 100% de la potencia entregada por el generador, por lo tanto es caro e introduce elevadas pérdidas; los filtros de salida del inversor y los filtros EMI para evitar interferencia electromagnética deben también manejar el total de la potencia generada y por lo tanto son también caros; y la eficiencia del convertidor juega un papel importante en la eficiencia total del conjunto, en todo el rango de operación. (20)



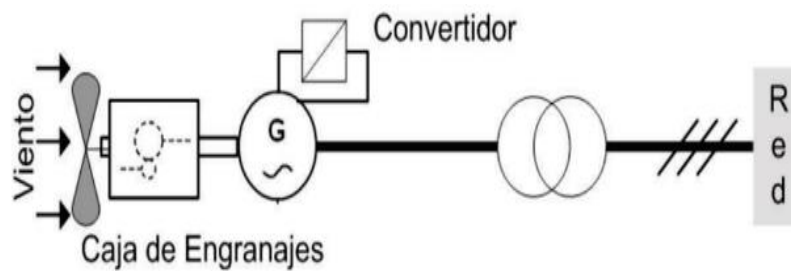
**Ilustración 41-2:** GI con Convertidor de Frecuencia  
Fuente: (20)

### 2.15.3 Generador de Inducción, Rotor Bobinado y Deslizamiento Controlado

En la Ilustración 42 se muestra esta configuración. El deslizamiento del generador de inducción suele ser muy pequeño por cuestiones de eficiencia, por lo que la velocidad de giro varía alrededor de un 3% entre el régimen en vacío y a plena carga. El deslizamiento es función de la resistencia de los devanados del rotor del generador. A mayor resistencia, mayor deslizamiento. Por lo que una de las formas de variar el deslizamiento es variar la resistencia del rotor. Esto suele hacerse mediante un rotor bobinado conectado a resistencias variables externas, además de un sistema de control electrónico para operar las resistencias. La conexión suele hacerse con escobillas y anillos

rozantes, lo que introduce partes que se desgastan en el generador, requiriendo de mantenimiento adicional. Para evitar los problemas que introducen los anillos rozantes, las escobillas, y las resistencias externas, se montan las resistencias y el sistema electrónico en el propio rotor. Para comunicarle al rotor el valor de deslizamiento que necesita se usa una comunicación de fibra óptica. La electrónica del rotor cada vez que pasa por la fibra óptica fija, envía la señal de control.

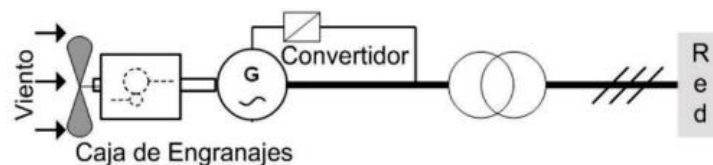
El concepto fue introducido por la empresa VESTAS alrededor del año 1995, y se conoce con el nombre de OptiSlip (deslizamiento óptico). Es posible de esta forma controlar el deslizamiento en alrededor de un 10%, por medio del control de la resistencia del rotor lo que permite a su vez controlar la potencia de salida del generador. Se ha descrito un concepto alternativo, usando componentes pasivos en lugar de un convertidor de potencia, logrando también un rango de variación del deslizamiento análogo al anterior. (20)



**Ilustración 42-1:** GI Rotor Bobinado  
Fuente: (20)

#### 2.15.4 Generador de Inducción, Rotor Bobinado y Doble Alimentación

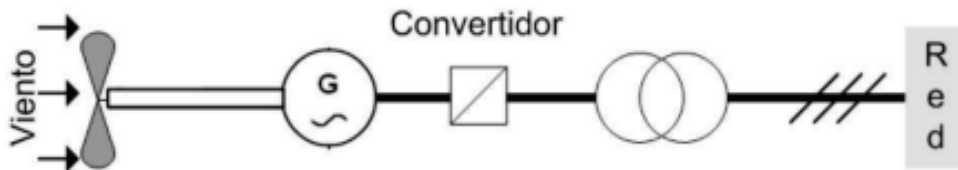
Este sistema consiste en un generador de inducción de rotor bobinado, alimentado por estator y por rotor, conocido como generador de inducción de doble alimentación. Posee un convertidor de cuatro cuadrantes (alterna continúa-alterna), basado en transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) conectados a los bobinados del rotor Ilustración 43. Las ventajas respecto al sistema que utiliza un convertidor de frecuencia son: menor costo del inversor (debe manejar el 25% del total de la potencia), menor costo del filtro de salida del inversor y del filtro EMI, mejora de la eficiencia del sistema, y el control del factor de potencia puede implementarse a bajos costos debido a que el sistema generador-convertidor opera en forma similar a una máquina sincrónica. La ventaja respecto al OptiSlip es que puede manejar un mayor rango de velocidad. (20)



**Ilustración 43-2: GI con Doble Alimentación**  
Fuente: (20)

**2.15.5 Generador de Imán Permanente**

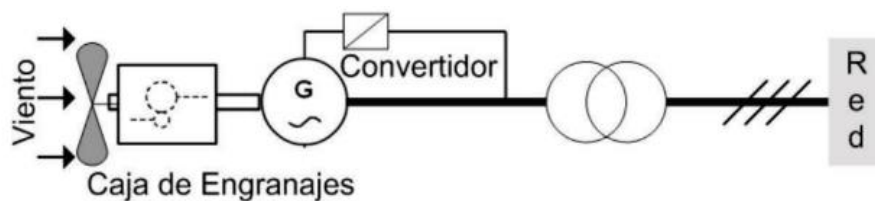
Esta configuración utiliza un generador de imán permanente, cuya entrada mecánica es directamente el eje de las palas, es decir que no utiliza caja de engranajes. Los generadores son típicamente de hasta 1 kW. Luego del generador se encuentra un rectificador cuya salida se encarga de cargar baterías. Esta es una configuración clásica utilizada en aplicaciones aisladas en zonas rurales. Una turbina eólica que utiliza este concepto, con potencia realmente importante y de conexión indirecta al sistema de potencia, ha sido desarrollada, la que se conoce con el nombre de Windformer, Ilustración 44. Se utiliza en turbinas eólicas que se instalan en el mar (offshore), cuya potencia de salida es típicamente de 3 a 5 MW. El diseño básico de esta configuración está caracterizado por bobinados del estator con cables de alta tensión (HV -cable) y con campo magnético permanente en el rotor, acoplamiento directo entre el rotor y la turbina sin caja de engranajes y un sistema de colectores de corriente continua. (20)



**Ilustración 44-2: Generador de Imán Permanente**  
Fuente: (20)

**2.15.6 Generador Sincrónico, Rotor Bobinado Excitado por Convertidor de Potencia**

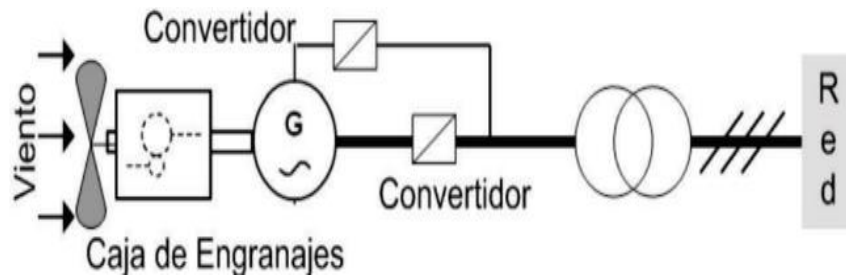
Esta configuración es muy común en generadores eólicos, Ilustración 45. Básicamente utiliza un generador sincrónico donde el bobinado del rotor es excitado con corriente continua a través de un convertidor de potencia. La baja utilización en comparación a la configuración anterior se debe a la necesidad de un circuito de excitación y a la necesidad de contar con anillos rozantes para ingresar a los bobinados del rotor. (20)



**Ilustración 45-2: GS Rotor Bobinado y Convertidor**  
Fuente: (20)

### 2.15.7 Generador Sincrónico empleando dos Convertidores de Potencia

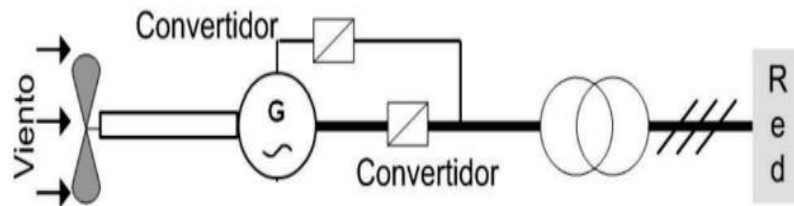
Esta configuración utiliza un generador sincrónico con rotor bobinado, el cual es excitado con corriente continua rectificadora desde el convertidor de potencia, Ilustración 46. Tiene además un convertidor de potencia de corriente alterna de frecuencia variable, a corriente alterna de frecuencia constante (50 o 60 Hz). Respecto a la configuración anterior, ésta puede generar potencia a distintas velocidades del viento. (20)



**Ilustración 46-2:** GS, Dos Convertidores de Potencia  
Fuente: (20)

### 2.15.8 Generador Sincrónico de Múltiples Polos con Rotor Bobinado

Esta configuración es similar a la anterior solo que no tiene caja de engranajes, y utiliza un generador sincrónico de múltiples polos, Ilustración 47. Las compañías de turbinas eólicas ENERCON y LAGERWEY construyen sus equipos utilizando esta configuración.



**Ilustración 47-2:** GS de Múltiples Polos, sin Engranajes  
Fuente: (20)

## 2.16 Selección de turbinas.

### 2.16.1 Criterios de selección.

Para seleccionar una turbina se tienen en consideración los siguientes criterios:

- El número de revoluciones del generador.
- El número específico de revoluciones.



- Factores económicos.

### **2.16.2 El número de revoluciones del generador (n)**

El Generador. Es una maquina eléctrica que produce corriente alterna monofásica o trifásica. Convierte la energía mecánica entregada por la turbina en energía eléctrica.

También se le conoce con el nombre de “alternador”.

Si se monta en el mismo eje de la turbina, el número de revoluciones de la turbina es igual al del generador.

Los generadores pueden ser: síncronos (alternador) o asíncronos.

a) El generador síncrono. - El valor de rotación del eje (n en rpm) se halla en relación inversa con el número de polos.

$$n = 60 \frac{f}{P} \quad (84)$$

f – frecuencia en Hz

P – ares de polos

El número de pares de polos define el tamaño del generador.

b) El generador asíncrono. - Aquellos que no cumplen la condición anterior; es decir,  $n \neq 60 f / P$ ; lo cual implica desfase entre la velocidad del rotor y la velocidad del campo magnético. Se los usa casi exclusivamente como motores.

Los generadores usados en las centrales hidroeléctricas son síncronos con pares de polos que varían entre 2 y 48 y con n que varía entre 60 y 600 rpm.

En centrales con potencias menores de 500 KW se recomienda usar generadores con 2 a 4 pares de polos.

### **2.16.3 El generador síncrono**

El generador síncrono transforma la energía mecánica producida por las turbinas en energía eléctrica, debido al principio de “inducción electromagnética” de Faraday (1831).

Este principio consiste en que el rotor (inductor) gira dentro del estator (inducido). El rotor

aloja los polos magnéticos de excitación con corriente proveniente de la excitatriz.

Dicha corriente está destinada a crear flujo magnético inductor entre el rotor y el estator a través del entrehierro (espacio de algunos milímetros).

Según el principio de Faraday, este flujo magnético inductor induce una tensión trifásica en los bornes de salida del generador síncrono.

Importante. - Si no fluye la corriente continua de la excitatriz al devanado de campo del rotor, no se generará ninguna tensión en los bornes terminales del estator, por más que el rotor gire. La forma como llega la corriente continua de la excitatriz al rotor es a través de las escobillas (carbones) que se desliza sobre los colectores o anillos (negativo y positivo) pero que están aislados eléctricamente del eje del rotor.

El nombre del generador síncrono deriva de que la velocidad angular de rotación siempre debe estar en concordancia con la frecuencia eléctrica de la red y cuya relación es  $n = 60 f/P$ .

La potencia del generador está dada por:

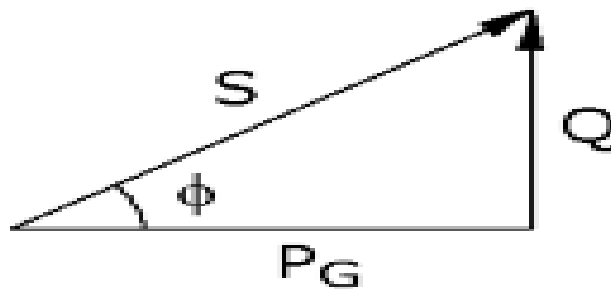
donde:  $P_G$  - Potencia del generador

$P_a$  - Potencia útil de la turbina

$\eta_G$  - Eficiencia del generador,  $\eta_g = 1 - 0,06$  (Pares de polos)-0,2

$\eta_t$  - Eficiencia de transmisión, igual a 1 si el acoplamiento es directo (eje común entre generador y turbina), y 0,95 para acoplamientos indirectos a través de poleas o engranajes.

También:  $P_G = S \cos \phi$



**Ilustración 48-2:** Triangulo de potencias

Fuente: (6)

Donde:

S - potencia aparente (KVA)

$P_G$  - potencia activa que realiza trabajo útil en la máquina.

Q - potencia reactiva, es la que produce el campo magnético necesario para el funcionamiento de la máquina. No produce trabajo útil.

Cos  $\phi$  - factor de potencia = 0,8

#### 2.16.4 El número específico de revoluciones ( $n_s$ )

Para H pequeña y Q grande:  $n_s$  debe ser grande (pero preferible no mayor de 950 m CV para evitar cavitación) a fin de que n no sea muy pequeño (debe ser lo más grande posible).

Para H grande y Q pequeño:  $n_s$  debe ser pequeño para que n no sea muy grande (debe ser lo más pequeña posible).

Para escoger el  $n_s$  apropiado para una turbina se deben tener en consideración algunas reglas prácticas (empíricas) que relación a este parámetro con la altura neta de la instalación, saber:

##### 2.16.4.1 Reglas Prácticas que relacionan $n_s$ con la altura neta H.

Fórmulas:

###### a) Americana - U.S.B.R. (United States Bureau of Reclamation)

Para turbinas Francis:

$$\frac{1553}{\sqrt{H}} < n_s \leq \frac{2334}{\sqrt{H}} \quad (85)$$

Para turbinas Kaplan:

$$\frac{2088}{\sqrt{H}} < n_s \leq \frac{2702}{\sqrt{H}} \quad (86)$$

$n_s$ : es el número específico de revoluciones de cada turbina (unitario).

###### b) Europeas:

Para turbinas Kaplan y Francis:

MAROZOV:

$$n_s \leq \frac{2220}{H^{0,57}} \quad 20 \text{ m} < H < 300 \text{ m} \quad (87)$$

SCHAPOV:

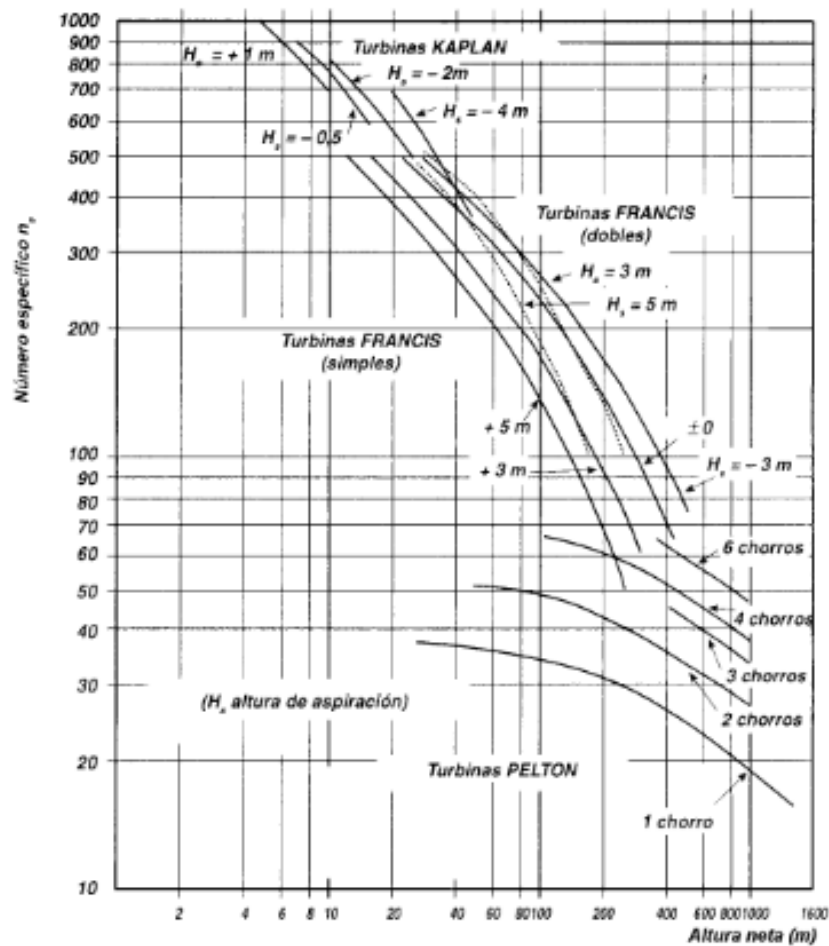
$$n_s \leq \frac{2420}{\sqrt{H}} - 80 \quad 20 \text{ m} < H < 300 \text{ m} \quad (88)$$

EGUIAZAROV:

$$n_s \leq \frac{2250}{\sqrt{H}} \quad H < 10 \text{ m} \quad (89)$$

$$n_s \leq \frac{2500}{\sqrt{H}} \quad 10 \text{ m} < H < 25 \text{ m} \quad (90)$$

$$n_s \leq \frac{5000}{H^{3/4}} \quad 25 \text{ m} < H < 300 \text{ m} \quad (91)$$



**Ilustración 49-2:** Gráfico para para la determinación del número específico en función de la altura neta.

Fuente: (6)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Metodología del diseño

Teniendo en cuenta los objetivos planteados en el proyecto de titulación, la metodología general implantada en el desarrollo de este se muestra en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** – 3., allí se ve de manera generalizada el procedimiento que se empleó.



**Ilustración 1-3:** Proceso de selección de una turbina  
**Realizado por:** Byron M, Padilla M. 2022

En general se realizaron 5 fases principales, las fases iniciales I corresponde al estudio de la capacidad de suministro de agua que cuenta la estación de bombeo, la segunda etapa corresponde a la selección de la turbina y del generador adecuado para la instalación del equipo; luego de tener estas etapas finalizadas y en base a la información allí obtenida se procedió con la fase III, allí se elaboró un listado de accesorios y planos necesarios para la instalación de la turbina y el generador en la estación de bombeo; luego de tener finalizada las tres primeras etapas la fase IV se realiza los costos de la turbina y el generador costos de la instalación como mano de obra y adecuaciones para el funcionamiento en la planta; en la fase final se realiza el análisis de costos como es la potencia generada de la estación seleccionada el análisis de la depreciación de la turbina y el generador a lo largo del tiempo, para de esta manera obtener unas conclusiones frente a la viabilidad o no del proyecto.

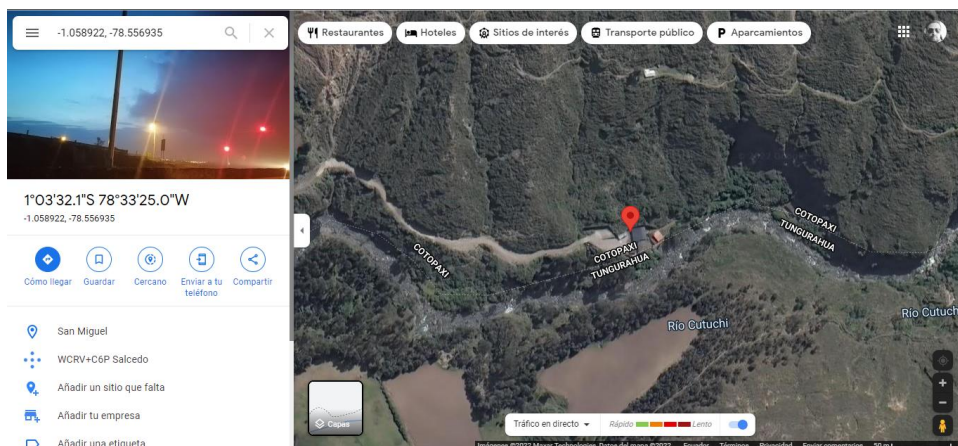
## 3.2 Análisis técnico

### 3.2.1 Características Geográficas

#### 3.2.2.1 Situación geográfica de la zona del Proyecto

La estación de bombeo el carrizal está ubicada al sur este del cantón a provincia de Latacunga. En esta zona se encuentra el cantón Salcedo al cual pertenece dicha comunidad a una altura de 2735 msnm.

- Latitud 1°03'32.1"S
- Longitud 78°33'25.0"W



**Ilustración 2-3:** Ubicación de la Estación de Bombeo el Carrizal

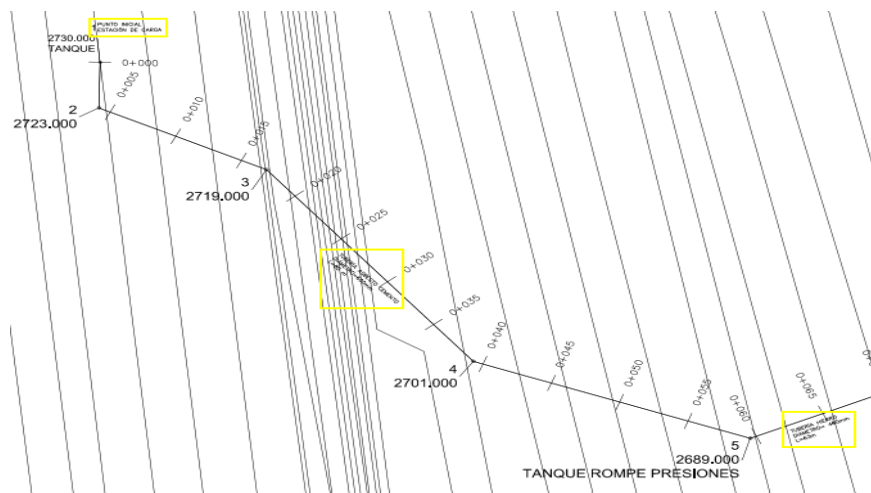
Fuente: Google Maps

#### 3.2.2.2 Características de la zona del proyecto

El proyecto se desarrollará en el sector el Carrizal del Cantón Salcedo provincia de Latacunga. El sector el Carrizal está separada de la ciudad de Salcedo por una longitud de 5 km, la forma de acceso a la misma es mediante el uso de la carretera principal hasta el sector el Carrizal posteriormente por una carretera de tercer orden, la cual llega directamente a la Estación de Bombeo.

#### 3.2.2.3 Evaluación topográfica del terreno y de los diámetros de tubería

Mediante esta evaluación se puede determinar las características del terreno donde se realizará el proyecto para una adecuada selección. Para este estudio se hizo un reconocimiento del terreno utilizando el método topográfico con teodolito estacionario.



**Ilustración 3-3:** Descripción topográfica del proyecto

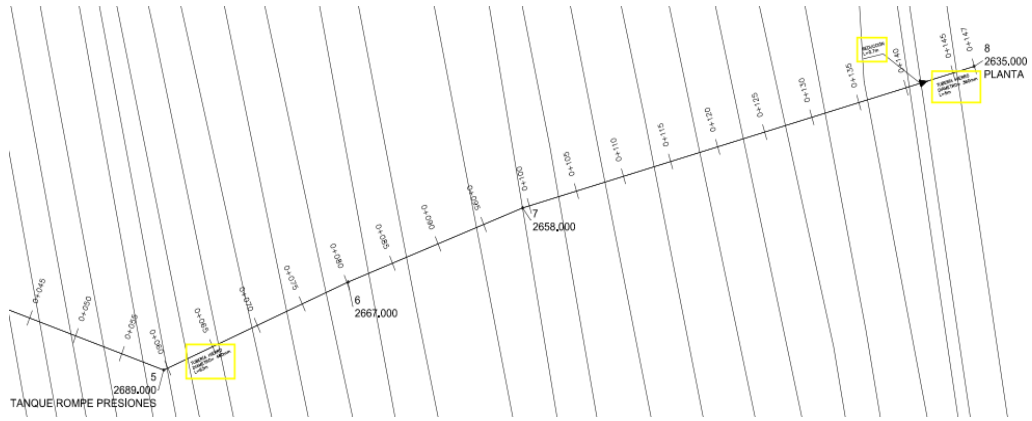
**Fuente:** Datos y coordenadas geográficas tomadas mediante una estación topográfica

El punto inicial de la estación de carga donde está la derivación del agua hacia la del tanque rompe presiones, la posición geográfica es la siguiente:

- Latitud 1°03'27.8"S
- Longitud 78°33'24.3"W
- Altura 2730 m.s.n.m.

El punto intermedio del taque rompe presiones rompe presiones desde donde se alimenta hacia la casa de máquinas de la estación el Carrizal, la posición geográfica es la siguiente:

- Latitud 1°03'29.2"S
- Longitud 78°33'24.8"W
- Altura 2696 m.s.n.m.



**Ilustración 4-3:** Descripción topográfica del proyecto

**Fuente:** Datos y coordenadas geográficas tomadas mediante una estación topográfica.

El punto donde llega la tubería hacia el punto de aspiración de la turbina, la posición geográfica es la siguiente:

- Latitud 1°03'32.2"S
- Longitud 78°33'24.6"W
- Altura 2635 m.s.n.m.

### 3.2.2.4 Diámetros de la tubería

En el recorrido realizado del acueducto se observó 3 tramos diferentes de tubería que existen en la estación, cuyo el primer tramo está compuesto desde la estación de carga hasta el tanque rompe presiones el cual está conectado por una tubería de 600 mm de cemento con una longitud de 79,955 metros, el segundo tramo está compuesto desde el tanque rompe presiones hasta la reducción concéntrica de 20 NPS a 14 NPS el tramo de tubería es de acero negro de dimensión 20 NPS SCH-40 con un longitud de 62,352 metros, el tercer tramo de tubería de acero negro con diámetro de 14 NPS SCH-40 va desde la reducción hasta la conexión de la turbina con un longitud de conexión de 5 metros.

**Tabla 1-3:** Tabla de diámetros y longitudes

TABLA DE DIAMETROS	
DIAMETRO	LONGITUD
360 MM	5 m
508 MM	62,352 m
600 MM	79,955 m

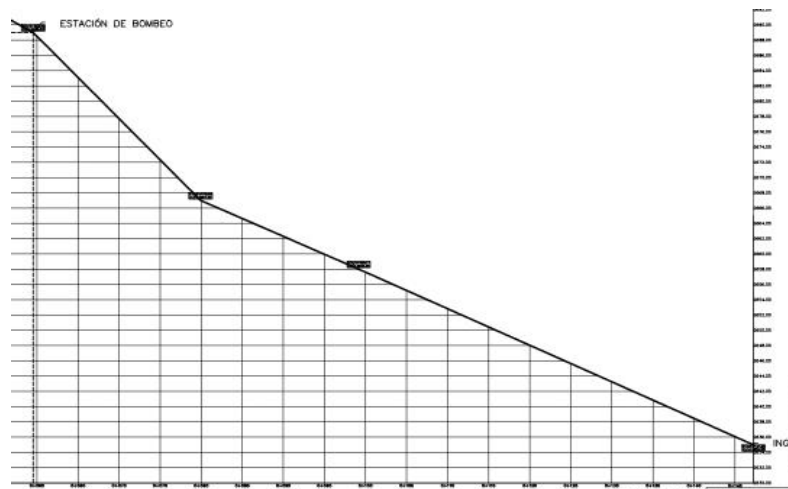


TOTAL	TOTAL
3	147,307 m

Realizado por: Padilla, Byron, 2022

### 3.2.2.5 Determinación de la altura bruta

La altura bruta es la diferencia de nivel entre la cota del tanque rompe presiones y la cota de la casa de máquinas de la estación de bombeo el Carrizal.



**Ilustración 5-3:** Posición, altura y longitud de puntos principales del proyecto

**Fuente:** Datos y coordenadas geográficas, mediante una estación topográfica

La diferencia de alturas nos dará una altura bruta de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$H_b = h_2 - h_1 \quad (92)$$

En donde:

$H_b$  = Altura bruta

$h_2$  = Altura del punto más alto (tanque de rompe presiones)

$h_1$  = Altura del punto más bajo (casa de máquinas)

$$h_2 = 2696 \text{ m}$$

$$h_1 = 2633 \text{ m}$$

$$H_b = 2696 - 2633 \text{ m}$$

$$H_b = 63 \text{ m}$$

### 3.2.2.6 Determinación de la altura neta

- *Perdidas por rejillas*

Par a la aplicación de la formula se inspección el tanque rompe presiones el cual tiene una rejilla perpendicular como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** El cual se observó que es perpendicular a la superficie de la pared.



**Ilustración 6-3:** Rejilla de Limpieza del tanque rompe presiones

Relizado por: Padilla B., 2022.

Para lo cual se procede con la ecuación (76) para el cálculo:

**Tabla 2-3:** Parámetros para el cálculo de perdidas por rejilla

<b>t (mm)</b>	<b>3</b>
<b>b (mm)</b>	10
<b><math>V_0</math> (m/s)</b>	4,85221599
<b><math>g</math> (m/s<sup>2</sup>)</b>	9,81
<b>Kt</b>	1,8

Ht (m)	0,43379255
--------	------------

Realizado por: Padilla, Byron,2022.

- Numero de Reynols

En la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.- 3: y la **Tabla 4-3:** Calculo del número de Reynols del - 3: y la tabla se adjunta el cálculo de Reynols para los dos tramos de tubería, los valores de viscosidad y densidad del agua se obtuvieron del **ANEXO A**

**Tabla 3-3:** Calculo del número de Reynols del segundo tramo

Q(m3/s)	<b>0,305</b>
Diámetro (m)	0,47782
A (m3)	0,144181802
V (m/s)	2,115384857
Densidad (kg/m3)	998,2
Viscosidad (N-s/m2)	1,01E-03
Re	807 229,71

Realizado por: Padilla, Byron,2022.

**Tabla 4-3:** Calculo del número de Reynols del tercer tramo

Q(m3/s)	<b>0,305</b>
Diámetro (m)	0,42846
A (m3)	0,144181802
V (m/s)	2,115384857
Densidad (kg/m3)	998,2
Viscosidad(N-s/m2)	1,01E-03
Re	900 225,23

Realizado por: Padilla, Byron,2022

- Factor de fricción

En la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.- 3: y la **Tabla 6-3:** Calculo del Factor de fricción del segundo tramo- 3: y la tabla se adjunta el cálculo de Reynols para los dos tramos de tubería, los valores de viscosidad y densidad del agua se obtuvieron del **ANEXO B**

**Tabla 5-3:** Calculo del Factor de fricción del segundo tramo

<b>Diámetro (m)</b>	0,47782
<b>Rugosidad (m)</b>	0,00009
<b>Re</b>	807229,71
<b>f</b>	0,013563714

Realizado por: Padilla, Byron, 2022.

**Tabla 6-3:** Calculo del Factor de fricción del segundo tramo

<b>Diámetro (m)</b>	0,33334
<b>Rugosidad (m)</b>	0,00009
<b>Re</b>	1157108,36
<b>f</b>	0,01460849

Realizado por: Padilla, Byron, 2022.

- Perdidas por longitud de tubería

**Tabla 7-3:** Calculo de perdidas por longitud de tubería del primer tramo

<b>f</b>	<b>0,013563714</b>
<b>L (m)</b>	62,352
<b>D (m)</b>	0,47782
<b>V (m/s)</b>	1,700909904
<b>g (m/s<sup>2</sup>)</b>	9,81
<b>h (m)</b>	0,260992659

Realizado por: Padilla, Byron, 2022.

**Tabla 8-3:** Calculo de perdidas por longitud de tubería del segundo tramo

<b>f</b>	<b>0,01460849</b>
<b>L (m)</b>	5
<b>D (m)</b>	0,33334
<b>V (m/s)</b>	3,49490275
<b>g (m/s<sup>2</sup>)</b>	9,81
<b>h (m)</b>	0,13641406

Realizado por: Padilla, Byron,2022

En el cálculo de las pérdidas por longitud de obtuvieron en el primer tramo un valor de 0,26 metros y en el segundo tramo una pérdida de 0,13 metros, obteniendo un valor total de 0,3974 metros en pérdidas por longitud,

- Pérdidas por accesorios

En el ANEXO C se detalla las pérdidas equivalentes en longitud de tubería por accesorios presentes en el tramo del tanque rompe presiones y la estación de carga

**Tabla 9-3:** Calculo de las perdidas por accesorios

<b>Codo 90</b>	<b>Ki</b>	<b>0,8</b>
<b>Reducción</b>	Ki	0,25
	V0 (m2/s)	3,49490275
	hi (m)	0,4980365
	hi (m)	0,15563641
	hit (m)	0,65367291

Realizado por: Padilla, Byron,2022

*Altura neta*

**Tabla 10-3:** Altura Neta

<b>Altura Bruta</b>	<b>63</b>
<b>Rejilla (m)</b>	0,433792552
<b>Longitud(m)</b>	0,397406719
<b>Codo 90 (m)</b>	0,4980365
<b>Reducción</b>	0,15563641
<b>Altura Neta (m)</b>	60,9489204

Realizado por: Padilla, Byron,2022

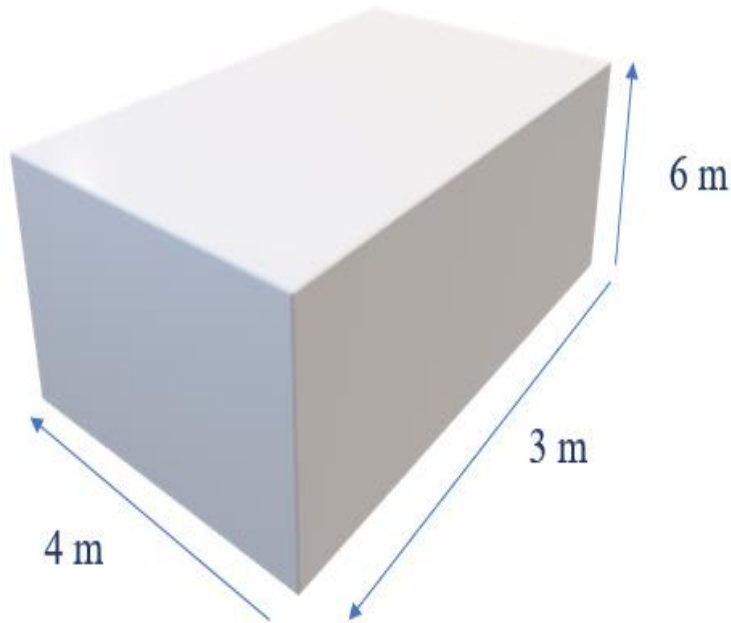
### 3.2.2.7 Estudio de la demanda

En la estación de bombeo el carrizal existe dos motores de 150 HP los cuales generan egresos al Agua potable del Cantón Salcedo por unos \$ 5000 mensuales por consumo de luz.

### 3.2.2 Características hidrológicas

#### 3.2.2.8 Determinación del caudal suministrado

Para la determinación del caudal se asistió a tomar medidas del tanque rompe presiones para lo cual se asistió a tomar medidas del tanque en dos ocasiones para tomar tanto las dimensiones del tanque como los tiempos de llenado obtenido los siguientes resultados:



**Ilustración 7-3:** Dimensiones del Tanque rompe presiones  
Realizado por: Byron M, Padilla M. 2022

**Tabla 11-3:** Cálculo del caudal de abastecimiento de la estación

Tiempo (s)	Volumen ( $m^3$ )	Caudal ( $m^3/s$ )
240,58	72	0,29927675
231,24	72	0,31136482
		0,30532078

Realizado por: Padilla, Byron, 2022

### 3.2.3 Cálculo de Potencia

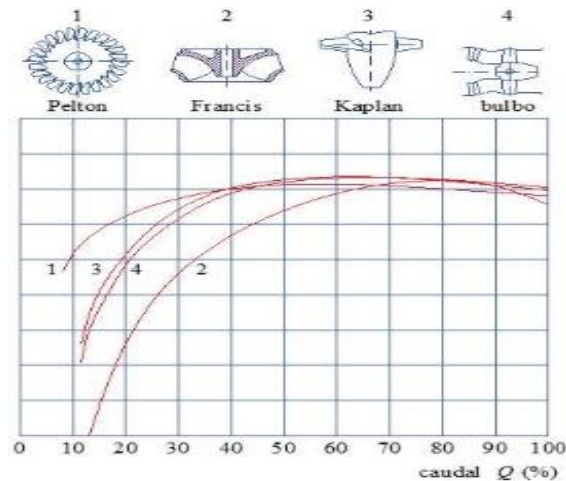
#### 3.2.6.1 Potencia ideal

En función de la ecuación (27) para el cálculo de la potencia absorbida en la potencia por la turbina

$$P_i = \gamma Q H_b = (9.81 \text{ m/s}^2) (0,305 \text{ m}^3/\text{s}) (47,1478 \text{ m}) = 141,068 \text{ kW}$$

### 3.2.6.2 Determinación de la eficiencia de la Turbina Francis

Para la determinación de la eficiencia de la turbina se empleó la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el cual se obtuvo una eficiencia del 88% para a la turbina el cual está dentro del rango de ampliación de la misma



**Ilustración 8-3** Eficiencia de turbinas hidráulicas  
Fuente: (21)

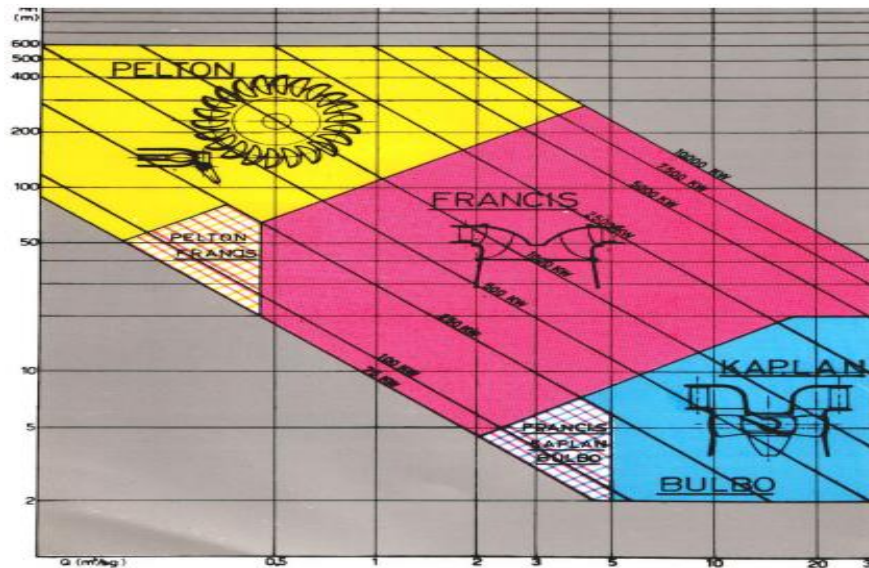
### 3.2.6.3 Potencia real

$$\eta = \frac{P_{real}}{P_i} \quad (93)$$

$$P_{real} = \eta P_i = 0,88(141,068kW) = 124,13984kW \quad (94)$$

### 3.2.4 Selección del tipo Turbina

De acuerdo a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. – 2.**, se puede escoger entre las turbinas Pelton, Francis, Kaplan, sin embargo, debido a las condiciones de trabajo de la estación de Bombeo el Carrizal, se optó por la elección de turbina Francis, que igualmente se acoplaría a las características de la PCH



**Ilustración 9-3:** Electrocuición de la turbina de acuerdo a las características de caudal y altura neta

Fuente: (22)

### 3.2.5 Características Eléctricas

La función del generador es de transformar la energía mecánica en energía eléctrica. LA PCH estar conformado por unidades de generación de tipo sincrónico. Se estableció la implementación de una unidad debido a temas de confiabilidad y mantenimiento.

De acuerdo a la disponibilidad en el mercado se determinó el siguiente generador con las siguientes características.

- Potencia 125 Kw
- Voltaje 480
- Fases 3
- Frecuencia 60 Hz
- Velocidad rotacional 1800 rpm
- Polos 2
- Clase de aislamiento F/F

### 3.2.6 Selección del proveedor del conjunto turbina generado

En la búsqueda del proveedor para la selección se validó con importadores que tiene contacto con empresa como Canyon Hidro, FORWARD HYDRO POWER EQUIPMENT CO LTD, Chengdu Forster Technology Co., Ltd.



En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. – 3:** se analiza los costos del conjunto turbina generado da cada una de las empresas

**Tabla 12-3:** Análisis de costos de las empresas cotizadas

	<b>CANYON HIDRO</b>	<b>FORWARD HYDRO POWER EQUIPMENT CO LTD</b>	<b>CHENGDU FORSTER TECHNOLOGY CO., LTD.</b>
<b>VALORES DEL CONJUNTO TURBINA GENERADOR</b>	\$140.000,00	\$ 58.398,00	\$ 75.400,00

Realizado por: Padila, Byron, 2022

### 3.2.6.1 Descripción de la oferta Canyon Hidro

En el análisis de la empresa CANYO HIDRO con residencia en Chile se obtuvo la siguiente los elementos para instalar la turbina como el cuadro de control con medias descritas en el **ANEXO D: OFERTA CANYO HIDROANEXO D** que son elementos complementarios los cuales se describe:

- (1) Válvula de entrada de turbina accionada hidráulicamente de 14”
- (1) Tubería de entrada de turbina personalizada de 14” x 6”, bridada y recubierta con manómetro
- (1) Tubería de salida de turbina personalizada de 10” x 14”, bridada y recubierta con manómetro
- (1) Unidad de potencia hidráulica personalizada para apoyar el accionamiento de la válvula de entrada
- (1) Patín de montaje de equipo de acero estructural personalizado
- (1) Conjunto de acoplamiento de transmisión directa flexible y protector de transmisión de acero listado de materiales que se necesita para adecuarlo.

La empresa CANYO HIDRO en condiciones adecuadas manifiesta que, en condiciones adecuadas de mantenimiento preventivo, correctivo del equipo se puede garantizar una vida útil del conjunto turbina generador 40 años.

El valor de toda la oferta de la empresa alcanza un valor de \$ 140 000

### *3.2.6.2 Descripción de la oferta Chengu Foster*

En la empresa Chengu Foster descritos en el **ANEXO E** describe los elementos para la instalación solo la válvula como elemento complementario lo cual al investigar en el mercado nacional los elementos manifestados en la oferta de la empresa CANYO HIDRO se encontró que los costos elevarían aún más su valor de instalación.

### *3.2.6.3 Descripción de la oferta Forward Hydro*

En la em presa Forward Hydro descritos en el **ANEXO F** describe los elementos como la válvula de compuerta como elementos adicionales para la instalación lo cual

## CAPÍTULO IV

### 4. EVALUACION FINANCIERA

#### 4.1 Monto de inversión

El monto invertido para satisfacer la potencia de PCH El Carrizal está basado en el valor porcentual del conjunto turbina generador.

Para obtener estas calificaciones se tomaron en cuenta diferentes proyectos en Ecuador y estudios similares, como se muestra en el anexo, y se determinó el valor porcentual medio representativo de valores de proyectos similares.

De acuerdo a la oferta que presenta en la cotización solicitada a la empresa Canyon Hidro, el precio de los equipos es de \$140 000 en la **Tabla 12-3: Análisis de costos de las empresas cotizadas** – 3: se presentan los valores en dólares del conjunto turbina generador.

#### 4.2 Valor actual neto (van)

Para determinar la rentabilidad de un proyecto, se calcula el Valor Actual Neto (VAN). El cálculo realiza al valor neto absoluto, lo que significa que representa el valor del proyecto en términos monetarios al día de hoy, teniendo en cuenta los flujos de caja más recientes, lo que reduce el riesgo. El valor de la tasa de descuento (K) se considera una constante para el análisis del VAN. La ecuación determina el VAN:

$$VAN = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^{t_n}} \quad (95)$$

Donde:

$F_t$ ; Son los flujos de dinero en cada periodo t (USD).

$I_0$ ; Es la inversión realizada en el momento inicial (t=0) (%).

$t_n$ ; Es el número de períodos de tiempo (años).

$k$ ; Es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión (%).

Los resultados del cálculo del VAN determinan financieramente lo siguiente, si:

- VAN > 0: El valor actualizado de la inversión y de su retorno a la tasa de descuento elegida generará utilidades.
- VAN = 0: El proyecto de inversión no generará ni utilidades ni pérdidas.
- VAN < 0: El proyecto de inversión generará pérdidas por lo que no es factible su implementación (23).

#### 4.2.1 Cálculos del VAN

Los parámetros que se han considerado para el cálculo del VAN y TIR se encuentran en la Tabla 33, la inversión inicial se aproxima a \$140.000,00.

**Tabla 1-4:** Consideraciones para el cálculo del VAN Y TIR

Parámetros para el VAN y TIR		
Inversión inicial	USD	\$140.000,00
Capacidad de Generación	kW.h	125
Horas generadas al año	h	6570
Eficiencia	95%	0,95
Capacidad de generación de energía anual	kW	780187,5
Tarifa Residencia del kW.h	\$ 0,10	0,1047
Valor de descuento al año	6,00%	0,06
Tasa de descuento al año #1	6,4%	0,064
Tasa de descuento al año #2	6,3%	0,063

Realizado por: Padila, Byron, 2022

**Tabla 2-4:** Cálculo del VAN

No.	FNE	(1+i)^	FNE/(1+i)^
0	\$ -140.000,00		\$ -140.000,00
1	\$ 73.685,63	1,06	\$ 69.514,75
2	\$ 71.685,63	1,1236	\$ 63.799,96
3	\$ 69.685,63	1,191016	\$ 58.509,40
4	\$ 67.685,63	1,26247696	\$ 53.613,36

5	\$ 65.685,63	1,33822558	\$ 49.084,12
6	\$ 63.685,63	1,41851911	\$ 44.895,86
7	\$ 61.685,63	1,50363026	\$ 41.024,47
		VAN	\$ 240.441,91

Realizado por: Padila, Byron, 2022.

### 4.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) se define como la tasa de interés que da una rentabilidad a una inversión, viene dada en porcentaje, se la define también como el valor de la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero en un proyecto. La Ecuación 77 determina el TIR. (23)

$$VAN = -I_0 + \frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^{t_n}} \quad (96)$$

Los resultados del cálculo del TIR determinan financieramente lo siguiente, si:

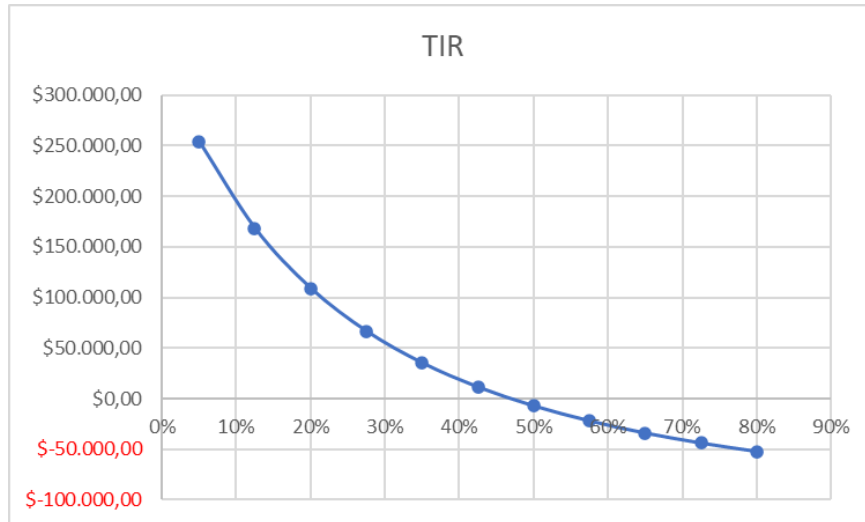
- Si  $TIR > k$ : La inversión en el proyecto es aceptado.
- Si  $TIR = k$ : El proyecto de inversión no generará ni utilidades ni pérdidas.
- Si  $TIR < 0$ : El proyecto de inversión no es factible (23)

**Tabla 3-4:** Calculo del TIR

TASA DE DESCUENTO	VAN
5%	\$253.908,41
13%	\$168.249,00
20%	\$109.096,42
28%	\$66.705,08
35%	\$35.334,41
43%	\$11.463,28
50%	\$-7.147,04
58%	\$-21.966,17
65%	\$-33.986,88
73%	\$-43.897,29

<b>80%</b>	<b>\$-52.185,55</b>
<b>TIR</b>	<b>47%</b>

Realizado por: Padila, Byron, 2022



**Ilustración 1-4:** Grafica del TIR

## CONCLUSIONES

- Los parámetros determinados en el sitio escogido por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Canon Salcedo fueron el caudal de 0.305 m<sup>3</sup> /s, mediante el estudio topográfico realizado se determinó una altura bruta de 61 m, la distancia entre la toma de agua y la ubicación de la turbina fueron de 147, 307 metros lineales de tubería y se determinó que la turbina seleccionada fuera Francis.
- Los resultados de la selección del conjunto mecánico e hidráulico se los pudo comprobar mediante el uso de fórmulas las cuales se obtuvo una potencia de 125 KW dada las condiciones con la que operan la estación de Bombeo.<sup>7</sup>
- El agua al ser un recurso renovable y continuo, se asegura una disponibilidad de energía potencia inagotable, sumada a que en épocas de alta pluviosidad del río cutuchi el cual se abastece la central por medio de una red de túneles hasta la estación, la cual que por medio de una válvula de control se regula el caudal de abastecimiento de la estación. Es relevante esta información para el documento y selección de la turbina en conjunto con (rpm, h y caudal) especificado en la metodología.
- La energía hidroeléctrica es una prioridad para el desarrollo del país, al aumentar a la existencia de pequeñas centrales hidroeléctricas se reduce las emisiones de carbono al ambiente producidos por plantas de generación que consume combustibles fósiles

## RECOMENDACIONES

- Determinada la capacidad de generación de 125 kW, el Gobierno Autónomo Descentralizado del Canon Salcedo puede definir la utilización de la energía en el área de su influencia.
- Se recomienda realizar un mantenimiento permanente del lugar de captación y del sistema de túneles que abastece de agua para la micro central y los sistemas de riego para la agricultura en el río Cutuchi, para evitar el ingreso de sólidos, con el fin de minimizar los daños que se producirán a los equipos.
- Complementar este estudio con el diseño de los sistemas eléctrico, electrónico y distribución según los requerimientos de utilización de la generación eléctrica.
- La energía que se produce a través de la turbina instalada, podrá ser utilizada para suplir la demanda de los motores de 150 HP que abastecen de agua a la ciudad de Salcedo.
- Promover el desarrollo de la construcción de turbinas de manera local para mejorar el desarrollo de proyectos hidroeléctricos locales.



## BIBLIOGRAFÍA

**ALVAREZ, & GIMENEZ** et al. “Generación eólica empleando distintos tipos de generadores considerando su impacto en el sistema de potencia”. *REDALYC* [en línea], 2011, Colombia,78(169), pp4-6. [Consulta: 12 noviembre 2021]. ISSN 0012-7353. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49622390011>

**ANDRÉS, ESCOBAR DÍAZ.; & CRISTHIAN, LEONARDO CORTÉS ARENAS.; & JUAN SEBASTIÁN LEGUIZAMÓN ARCHILA** “Pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)” *UNIVERSIDAD DSITRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS* [en línea], 2018, (Colombia) nº 1, pp. 2-10. [Consulta: 01 noviembre 2021]. ISSN-E 2248-4728 Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele/article/view/18366/17299>

**CAMARGO, &LUIS, &ARBOLEDA, &MARIA & CARDONA** “Producción de energía limpia en colombia, la base para un crecimiento sostenible”. *DOC PLAYER*[en línea],2016, Colombia,pp1-3. [Consulta: 20 diciembre 2021] . Disponible en: <https://docplayer.es/10064518-Produccion-de-energia-limpia-en-colombia-la-base-para-un-crecimiento-sostenible-maria-nohemi-arboleda-mnarboleda-xm-com-co.html>

**CARRIÓN J.** Calculo, y selección de los principales elementos constitutivos de una picocentral hidroeléctrica para accionamiento de un sistema alterno de abastecimiento de agua de la universidad nacional de Loja [En línea] (Trabajo de titulación) (Titulo de tercer nivel) UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA. Loja. 2004. pp 21-52 [Consulta: 2022-12-12]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/16454>

**CASTRO A.** *Minicentrales Hidroeléctricas* [en línea]. Madrid- España IDEA, 2006 [Consulta: 20 septiembre 2021]. Disponible en: [https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones\\_idae/documentos\\_10374\\_minicentrales\\_hidroelectricas\\_06\\_d3d056dd.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10374_minicentrales_hidroelectricas_06_d3d056dd.pdf)

*DECENIO INTERNACIONAL PARA LA ACCION EL AGUA DE FUEBTE DE VIDA 2005-2015*[blog]. [Consulta: 14 noviembre 2021] Disponible en: [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water\\_and\\_energy.shtml](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_energy.shtml)

**DÍEZ, PEDRO FERNÁNDEZ.** *Turbinas hidráulicas* [en línea]. España *Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética*, 2003 [Consulta: 20 enero 2022]. Disponible en: <https://www.academia.edu/download/34923076/turbinas-hidraulicas.pdf>

**GARCÍA MORENO** *Turbo maquinas-trubinas hidraulicas* [en línea] Lima-Peru, 201. [Consulta: 01 noviembre 2021]. Disponible en: [https://www.academia.edu/10056853/Turbomaquinas\\_Turbinas\\_Hidraulicas\\_Informe\\_GARCIA\\_PEREZ\\_FIEE](https://www.academia.edu/10056853/Turbomaquinas_Turbinas_Hidraulicas_Informe_GARCIA_PEREZ_FIEE)

**GARDEA VILLEGAS & HUMBERTO** *Aprovechamientos hidroeléctricos y de bombeo* [En línea](Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Autónoma de México, Estado de México, México. 1990 pp.55-70 [Consulta: 2021-10-28]. Disponible en: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/13496>

**JOAQUÍN, MURILLO S & ALVARO, TREJOS & PATRICIA, CARVAJAL** “ESTUDIO DEL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA, UTILIZANDO MODELOS DE SERIES DE TIEMPO” *SCIENTIA ET TECHNICA*[en línea], 2003, (Colombia), 3(23), pp. 1-3 [Consulta: 20 diciembre 2021]. ISSN 0122-1701. Disponible en: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7379/4403>

**JOSÉ AGÜERA** *Turbinas Hidráulicas* [blog]. [Consulta: 14 diciembre 2021]. Disponible en: <http://www.uco.es/termodinamica/ppt/pdf/fluidos%2013.pdf>

**JOSE GALARZA.** *Metodología para el diseño de turbinas en pequeñas centrales hidroeléctricas con capacidad menor a 10 mw- con ejemplo de aplicación* [En línea] (Trabajo de titulación). (Título de tercer nivel) ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA NACIONAL, Quito, Ecuador, 2015 pp 51-61. [Consulta: 2015-07-23]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9138/1/CD-6092.pdf>

**MACAS JÁCOME, HUGO ANDRÉS, & MAZA GUTIÉRREZ, & STALIN DAVID** *Diseño y simulación de un turbina Michell Banki para una hidroeléctrica con capacidad de 3000 Watts.* [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2018 pp.32-65 [Consulta: 2021-11-02]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15902>

**MATAIX , Claudio. 1982.** *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas* [en línea]. Mexico DEL CASTILLO S.A. 1986. [Consulta: 02 Diciembre 2021]. Disponible en: <https://conver2.files.wordpress.com/2012/11/ingenieria-claudio-mataix-mecanica-de-fluidos-y-maquinas-hidraulicas1.pdf>

**MENDOZA LA TORRE, & JIMMY SELECCIÓN,** Dimensionamiento y montaje de turbinas hidráulicas en el Perú [En línea] (Trabajo de titulación). (pregrado) Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Mecánica, Peru. 2021 pp 20-44 [Consulta: 2021-01-23]. Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2471275>.

**MORENO RICARDO,** Estudio de una turbina Hidráulica de triple efecto (Trabajo de titulación). (pregrado)Universidad Nacional de Perú, Perú. 2011 pp. 50-73 [Consulta: 2021-01-18]. Disponible en: <https://1library.co/document/download/y9g11krq?page=1>.

**MOTT ROBEERT,** *Mecánica de Fluidos* [en línea]. México: Person Education, 2006. [Consulta: 20 diciembre 2021]. Disponible en: <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>

**MUÑOZ ANTONIO,** *La Seguridad Industrial Fundamentos y Aplicaciones.* [en línea]. Madrid España, 2005. [Consulta: 15 diciembre 2021]. Disponible en: [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/La\\_Seguridad\\_Industrial\\_Fundamentos\\_y\\_Ap.pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/La_Seguridad_Industrial_Fundamentos_y_Ap.pdf)

**ORTIZ RAMIRO.** *Pequeñas centrales Hidroeléctricas* [en línea]. Bogotá-Colombia: : Ediciones de la U, 2011. [Consulta: 20 noviembre 2021]. Disponible en: <https://download.e-bookshelf.de/download/0003/5742/55/L-G-0003574255-0006890464.pdf>

**RAMOS, LEONARDO Y MONTENEGRO, MANUEL. 2012.** SCIELO. *SCIELO.* [En línea] 06 de 2012. [Citado el: 20 de 11 de 2021.] [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222012000200007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222012000200007&script=sci_arttext).

**ROBERTO ZEGARRA.** Análisis y simulación fluidodinámica del fenómeno de cavitación en una turbina Francis [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS,

EAP. DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS, Perú, 2015. pp. 35-50 [Consulta: 2021-10-28]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/323341428.pdf>

**SALAZAR G. &, PANCHI B.** “Análisis de la evolución de la demanda eléctrica en el Ecuador considerando el ingreso de proyectos de eficiencia energética” *REVISTA EPN*[en línea],2014, Ecuador, 33(3)pp.2-4

**SHAMES, IRVING.** *Mecánica de Fluidos* [en línea]. Bogotá - Colombia: McGraw-Hill, 1995. [Consulta: 01 octubre 2021]. Disponible en: <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/mecanica-de-fluidos-shames.pdf>

**TERÁN HÉCTOR; & TORRES GUIDO; & ARTEAGA OSCAR; & SÁNCHEZ WILSON** *Mecánica de fluidos* [en línea]. Rumiñahui.- Ecuador: Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2018 [Consulta: 20 enero 2022]. Disponible en:<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15410/1/Mecanica%20de%20Fluidos.pdf>

**TORRE-BAYO, JAVIER.** DISEÑO, FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA TURBINA FRANCIS PARA USO DOCENTE. 2021. [Consulta: 03 enero 2022]. Disponible en: <http://tauja.ujaen.es/handle/10953.1/14525>

**VELAYOS VÍCTOR.** *Valor actual neto (VAN)* [blog]. [Consulta: 28 enero 2022]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

## ANEXOS

### ANEXO A: PROPIEDADES DEL AGUA

#### PROPIEDADES DE FLUIDOS

**TABLA 2. Propiedades del agua**

**Unidades SI**

Temperatura (°C)	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad $\mu$ (N · s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	Tensión superficial $\sigma$ (N/m)	Presión de vapor (kPa)	Módulo de volumen B (Pa)
0	999.9	1.792 x 10 <sup>-3</sup>	1.792 x 10 <sup>-6</sup>	0.0762	0.610	204 x 10 <sup>7</sup>
5	1000.0	1.519	1.519	0.0754	0.872	206
10	999.7	1.308	1.308	0.0748	1.13	211
15	999.1	1.140	1.141	0.0741	1.60	214
20	998.2	1.005	1.007	0.0736	2.34	220
30	995.7	0.801	0.804	0.0718	4.24	223
40	992.2	0.656	0.661	0.0701	3.38	227
50	988.1	0.549	0.556	0.0682	12.3	230
60	983.2	0.469	0.477	0.0668	19.9	228
70	977.8	0.406	0.415	0.0650	31.2	225
80	971.8	0.357	0.367	0.0630	47.3	221
90	965.3	0.317	0.328	0.0612	70.1	216

**Unidades inglesas**

Temperatura (°F)	Densidad (slug/ft <sup>3</sup> )	Viscosidad (lb·s/ft <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática (ft <sup>2</sup> /s)	Tensión superficial (lb/ft)	Presión de vapor (psi)	Módulo de volumen (psi)
32	1.94	3.75 x 10 <sup>-5</sup>	1.93 x 10 <sup>-5</sup>	0.518 x 10 <sup>-2</sup>	0.089	293 000
40	1.94	3.23	1.66	0.514	0.122	294 000
50	1.94	2.74	1.41	0.509	0.178	305 000
60	1.94	2.36	1.22	0.504	0.256	311 000
70	1.94	2.05	1.06	0.500	0.340	320 000
80	1.93	1.80	0.93	0.492	0.507	322 000
90	1.93	1.60	0.83	0.486	0.698	323 000
100	1.93	1.42	0.74	0.480	0.949	327 000
120	1.92	1.17	0.61	0.465	1.69	333 000
140	1.91	0.98	0.51	0.454	2.89	330 000
160	1.90	0.84	0.44	0.441	4.74	326 000
180	1.88	0.73	0.39	0.426	7.51	318 000
200	1.87	0.64	0.34	0.412	11.53	308 000
212	1.86	0.59 x 10 <sup>-5</sup>	0.32 x 10 <sup>-5</sup>	0.404 x 10 <sup>-2</sup>	14.7	300000



**ANEXO B: MUESTRAN ALGUNOS VALORES DE RUGOSIDAD ABSOLUTA PARA DISTINTOS MATERIALES.**

<b>Material</b>	<b><math>\epsilon</math> (mm)</b>
Plástico (PE, PVC)	0,0015
Fundición asfaltada	0,06- 0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01
Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024
Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015
Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024
Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024
Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003
Hormigón	0,3-3,0

## ANEXO C: COEFICIENTES DE ACCESORIOS

Pieza, conexión o dispositivo	$K_f$
Rejilla de entrada	0.80
Válvula de pie	3.00
Entrada cuadrada	0.50
Entrada abocinada	0.10
Entrada de borda o reentrada	1.00
Ampliación gradual	0.30
Ampliación brusca	0.20
Reducción gradual	0.25
Reducción brusca	0.35
Codo corto de 90°	0.90
Codo corto de 45°	0.40
Codo largo de 90°	0.40
Codo largo de 45°	0.20
Codo largo de 22° 30'	0.10
Tee con flujo en línea recta	0.10
Tee con flujo en ángulo	1.50
Tee con salida bilateral	1.80
Válvula de compuerta abierta	5.00
Válvula de ángulo abierta	5.00
Válvula de globo abierta	10.0
Válvula alfallera	2.00
Válvula de retención	2.50
Boquillas	2.75
Controlador de gasto	2.50
Medidor Venturi	2.50
Confluencia	0.40
Bifurcación	0.10
Pequeña derivación	0.03
Válvula de mariposa abierta	0.24

**ANEXO D: OFERTA CANYO HIDRO**



**Energy  
Recovery  
Hydropower**

80 kW, 193 Feet, 6.5 CFS  
Fort Collins, CO



## Generate Power from New and Existing Water Delivery Networks

Canyon Hydro offers complete hydroelectric equipment packages for in-conduit energy recovery applications.

Potential generation sites may be found in any raw, drinking, or waste water network. The electricity generated can be used on-site to offset facility needs or sold to local utilities for profit.

Common applications are at flow or pressure control locations. Standard equipment packages include all components required to recover lost energy.



48 kW, 220 Feet, 3.3 CFS  
Covington, WA



95 kW, 170 Feet, 8.5 CFS  
Layton, UT

Canyon Hydro

## Complete Customizable Systems

Canyon Hydro's Pump Turbine Systems are specifically designed for conduit energy recovery applications. These fixed flow turbine-generator packages are skid mounted for simple installation and integrate seamlessly into both new and existing water delivery networks.

### Simplified Integration

- All Required Components Included
- Compatible with Any Existing SCADA System
- Controls Configured to Customer Specification
- Multiple Turbine Sizes for Standard Pipe Diameters
- Interconnection for Local Utility Requirements

### Worry Free Operation

- Water Delivery Always Prioritized
- Smooth Startup and Shutdown
- Secure Remote and Local Operation
- Utility Grade Controls and Interconnection
- Fail-Safe Configuration Standard
- System Battery Backup Available

### Available System Services

- Mechanical Installation by Canyon Hydro Millwrights
- Equipment Start-up, Testing, Commissioning and Training
- Ongoing Phone Support and Troubleshooting \*
- Standard 1-Year Equipment Warranty \*
- Optional 2-Year Equipment Warranty
- Maintenance Contracts

\* Included with purchase



80 kW, 193 Feet, 6.5 CFS  
Fort Collins, CO

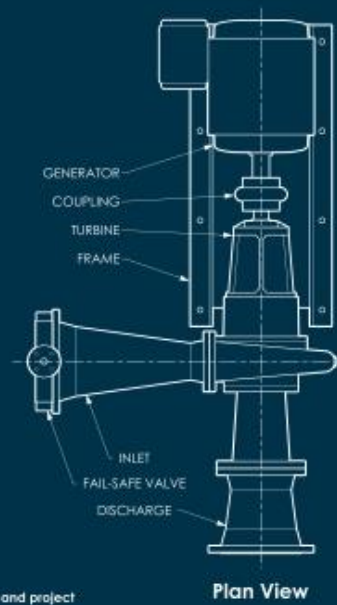
Canyon Hydro

# Pump Turbines Examples

Turbine Model*	Speed (RPM)	Net Head (Feet)	Flow Rate (CFS)	Power Output (Range)
10 TR2	1800	125 - 300	11.0 - 18.0	85 - 335 kW
	1200	50 - 125	6.5 - 11.5	18 - 90 kW
10 TR1	1800	65 - 160	9.5 - 14.5	35 - 135 kW
	1200	30 - 90	6.5 - 10.5	10 - 54 kW
8 TR3	1800	170 - 425	6.5 - 13.5	70 - 360 kW
	1200	80 - 190	5.0 - 9.0	20 - 105 kW
6 TR4	1800	220 - 390	4.5 - 9.5	55 - 240 kW
	1200	100 - 190	3.5 - 6.5	20 - 75 kW
6 TR3	1800	180 - 440	4.0 - 8.5	40 - 220 kW
	1200	80 - 190	2.5 - 5.5	10 - 60 kW
5 TR5A	1800	50 - 120	2.8 - 4.6	8 - 35 kW
	1200	25 - 55	2.0 - 3.2	3 - 12 kW
5 TR4	1800	225 - 500	3.5 - 7.0	40 - 215 kW
	1200	110 - 210	2.6 - 4.6	15 - 60 kW

NOTE: - Pump turbines are fixed flow hydroelectric generators  
 - Flow rate for each model is dependent on available net head  
 - Power output is a product of available net head and flow rate  
 - Additional models and speeds are available

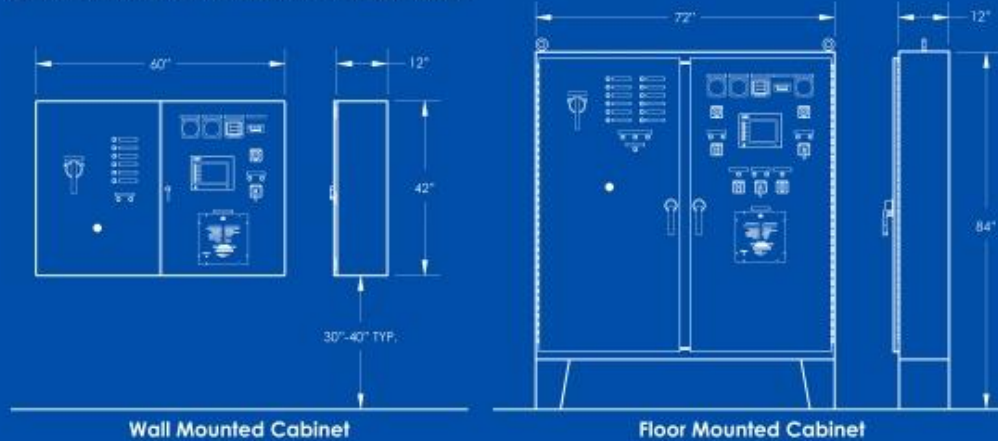
\*Please contact Canyon Hydro for assistance with selection of the best option for your site and project



Plan View

# Control and Interconnection Equipment

Standard control systems are available for most systems in either a wall or floor mounted configuration. Wall mounted configurations require less space however have less room for manual controls and auxiliary displays.



Wall Mounted Cabinet

Floor Mounted Cabinet

Canyon Hydro

NOTE: Dimensions given are for reference only and not for construction. MCCs and Custom configurations are available for any application.

# Pump Turbine Technology

Manufactured in the USA, Canyon Hydro's Pump Turbines are of fixed flow Francis design. These turbines are familiar to water facility operators and maintenance personnel as they are modified centrifugal pumps operating in reverse.

Pump Turbine equipment packages are simple to install, operate and maintain. The turbine, generator, hydraulic power unit and drive assembly arrive on site pre-installed to a custom structural steel mounting frame. Inlet and outlet transitions are designed and manufactured to meet existing upstream and downstream flange requirements. A fail-safe inlet valve and actuator arrive preassembled and ready to install. Custom switchgear and control panels are designed and built in the USA to meet the unique requirements of each electrical utility and project.

PAT systems are intended to operate in parallel with existing pressure reduction valves. Since Pump Turbines operate at a fixed flow rate, the parallel PRV passes any required flow beyond the turbine's capacity. The existing PRV additionally serves as a full flow bypass if the turbine is not in operation.



74 kW, 317 Feet, 3.8 CFS  
Hillsboro, OR

1-360-592-5552  
[info@canyonhydro.com](mailto:info@canyonhydro.com)

3500 Blue Heron Ln., Deming, WA 98244 USA





February 3, 2022

Luis Gonzalo Machado Vallejo  
luismachadovallejo@hotmail.com  
593-995646576

Dear Mr. Machado,

Thank you for your correspondence regarding the energy recovery project you are evaluating. We appreciate the opportunity to work with you to offer the best possible hydroelectric equipment package for this site and application.

Based on your correspondence, we are offering an equipment package utilizing a fixed flow pump turbine that will pass 223 l/s at an estimated net head of 61 meters. Under these conditions, expected system production will be 108 kW, using the equipment package described below.

- (1) Fixed flow pump turbine, CIB lead free fitted, mechanical seal, horizontal direct drive
  - (1) US Motors, 125 kW, 1800 rpm, 480 VAC, 60 Hz, 3 ph., induction generator
  - (1) 14" hydraulically actuated turbine inlet valve
  - (1) 14" x 6" custom turbine inlet piping, flanged and coated with gauge
  - (1) 10" x 14" custom turbine outlet piping, flanged and coated with gauge
  - (1) Custom hydraulic power unit to support inlet valve actuation
  - (1) Custom structural steel equipment mounting skid
  - (1) Flexible direct drive coupling set and steel drive guard
  - (1) Low voltage switchgear to parallel the generator with the local electrical utility grid.
  - (1) Controls panel to provide utility grade protective relays and PLC based controls readouts with auto start following grid failure.
- \*Specific utility requirements may change the scope of the switchgear/controls package offered and pricing may be affected. A one line diagram and equipment list will be submitted for local electrical utility review and approval prior to proceeding with panel manufacture.

Budget estimate system price, as described.....\$140,000.00 USD

The equipment package offered will be custom designed to meet the particular requirements of this site and project. As the project progresses and requirements are determined, we will be pleased to refine our budget estimate or offer a firm quotation. Budget estimates are offered for planning purposes only, but are often within 10% of a firm quotation for the same equipment package. This estimate does not include additional valve or piping requirements that may be identified as the project progresses.

Normal Terms	15% to begin final design 30% to begin manufacture following final design approval 25% mid-project payment 20% upon notice of readiness to ship and prior to shipment 10% upon successful start-up or 120 days from readiness, whichever is first
--------------	---

Submittals	10-16 weeks from receipt of final design payment
Normal Delivery	24-28 weeks from design approval and receipt of manufacture payment
Delivery FOB	Deming, Washington, USA (crated for shipment)
*We suggest budgeting \$5,000-\$8,000 for freight	

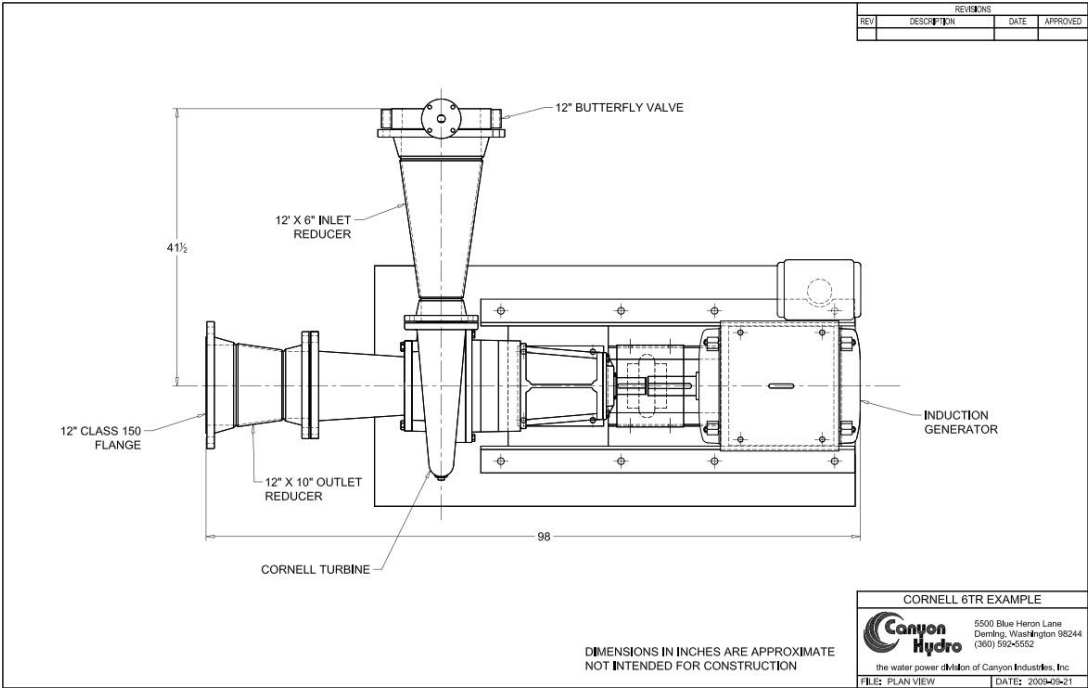
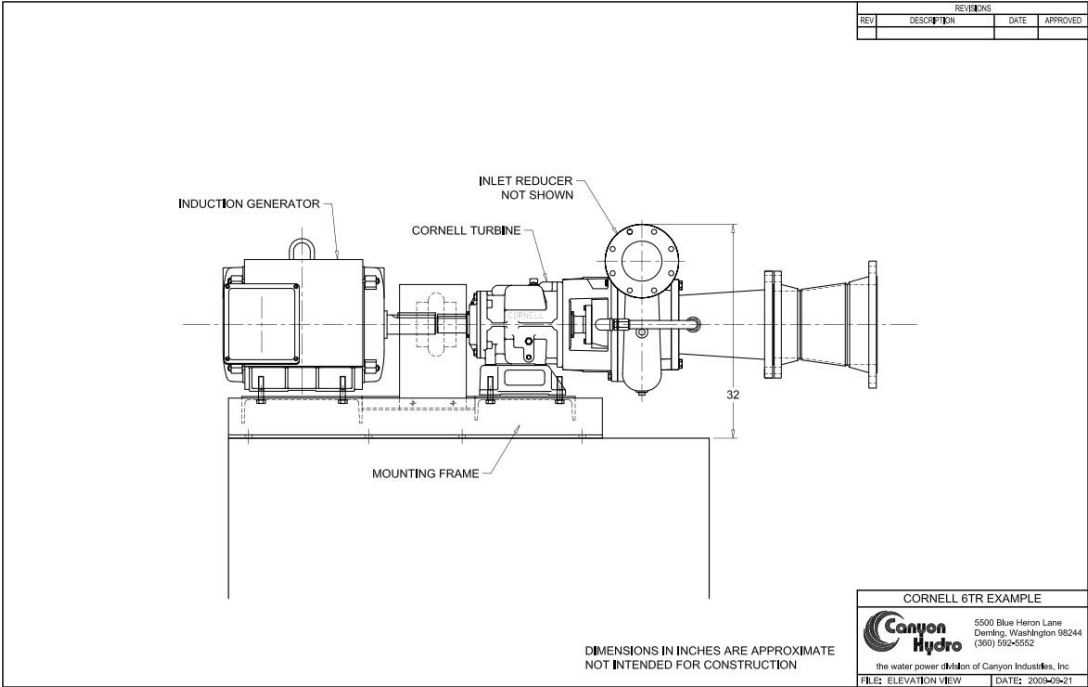
Commonly start-up, commissioning and training services are of value following installation. For a project of this type we can typically send a single technician who is capable of covering the mechanical and electrical portions of the equipment package. If start-up, commissioning and training assistance is of interest we suggest budgeting \$10,000-\$12,000 for a qualified Canyon Hydro technician.

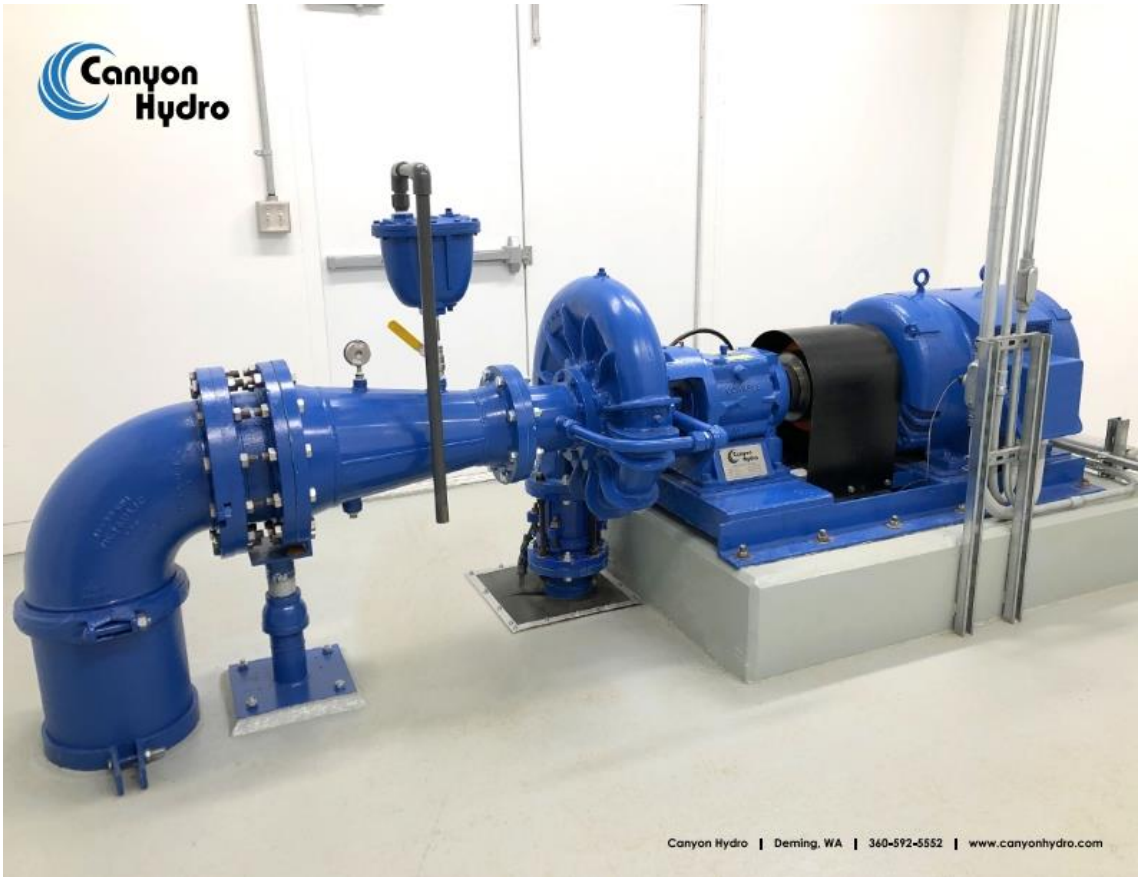
I look forward to working with you to ensure our equipment package meets all the requirements of this site and project. Please contact me as questions arise or as additional project information becomes available.

Sincerely,



Eric Melander  
Vice President of Sales





Canyon Hydro | Deming, WA | 360-592-5552 | [www.canyonhydro.com](http://www.canyonhydro.com)





## Company Profile

---

Canyon Industries, Inc. has been involved in the manufacture of hydroelectric systems since 1976. The company was incorporated under the laws of the State of Washington in 1982. All manufacturing facilities and offices are located in the United States, near Deming, Washington.

The company currently employs approximately 55 full time employees and has two manufacturing centers: a 24,000 square foot fabrication facility in Deming, Washington, and a 25,000 square foot CNC Machining Center near Sumas, Washington. Canyon has extensive machining and fabrication capabilities, and handles all aspects of turbine construction except foundry castings and forgings.

Francis, Pelton, In-line Francis, Crossflow and Turgo turbines are designed and manufactured under the trade name "Canyon Hydro." Turbines are offered as independent units or as part of complete hydroelectric systems. Canyon Hydro turbines are designed for either islanded operation, providing power to private grids, or as grid parallel systems, connecting directly to the local or national grid. Canyon customers include; utility companies, private power developers, municipalities, individual landowners, Native American communities, First Nations and remote communities.

Canyon Industries is a family-owned, profit sharing business with low employee turnover. The company emphasizes environmental responsibility through recycling programs and selective purchasing, and maintains its own onsite hydroelectric system delivering 25 kW of renewable energy.

Richard A. New, President and co-owner, joined Canyon in 1978 and oversees all manufacturing and field service operations. Richard has extensive background in hydraulics and metallurgy, and has onsite experience with a wide array of hydroelectric projects.

Daniel A. New, Vice President, founded Canyon Industries in 1976. Dan participates in turbine design, production procedures, sales, as well as company management and planning.

Brett W. Bauer, M.E., Vice President and Chief Engineer, joined the company in 1994. Brett works closely with Canyon customers and oversees all specification development, system design, and project management.

Eric Melander, Vice President of Sales, joined the company in 2005. Eric is trained in turbine design and works closely with Canyon customers through all project stages to ensure the proper system is chosen and built to customer requirements.

Canyon Industries' annual gross sales have averaged \$12 - \$15 million for the past few years. The company is current on all suppliers' accounts and has no other debt. All production and support equipment is owned without attachment by the company. Corporate occupied land and buildings are presently leased. Canyon Industries Inc. has no claims or lawsuits pending.





## Standard Warranty

---

Seller warrants that as to fabrication and assemblies all material and equipment purchased by it and incorporated in or becoming a part of the work shall be new, unless otherwise directed in writing by the Buyer. Seller warrants that all material and equipment manufactured by it shall be free from injurious defect, latent or otherwise, and shall conform to the specifications provided. If within 18 months after Notification of Readiness to Ship any such material or equipment, or within one year after such material or equipment is placed in use or operation, whichever first occurs, Buyer (or Buyer's successor in interest) shall discover a defect or defects therein other than those resulting from either ordinary wear and tear, defects resulting from improper use thereof, and additions or alterations made by persons other than Seller, and shall notify Seller thereof, in writing, within such period, Seller will repair or replace such defective material or equipment or the defective portion or part thereof free of charge to Buyer (or Buyer's successor in interest) ExWorks Seller's plant, except for costs of removal and installation.

Seller does not warrant or guarantee materials or equipment which it does not design, but will use its best efforts to obtain for Buyer such guarantees as requested by Buyer. Unless otherwise advised, in writing by Buyer, Seller shall incorporate in every purchase order to suppliers of material and equipment for Buyer, its customary warranty and guarantee requirements.

Except as above specified, Seller will not be liable upon any guarantees or warranties, expressed or implied, statutory or by operation of law or otherwise, in any manner or form whatsoever, including but not limited to warranties of merchantability and/or fitness for purpose.

Except as above specified, Seller will not be liable for any costs, expenses or damages whatsoever, including but not limited to loss of interest, earnings, profits or other special indirect or consequential damages.



## General Provisions for Field Service

---

Effective January 1, 2020

### Field Service Rates

**Technician** \$1,400 per day  
Overtime/weekends \$200 per hour

**Engineer or Executive** \$2,000 per day  
Overtime/weekends \$285 per hour

#### Transportation

Personal or Corporate automobile mileage charged at \$0.575/mile.  
Air, rail, rental car, etc. will be charged at cost plus 15% processing charge.

#### Lodging & Meals

Charged at cost plus 15% processing charge.

#### Travel

Travel time will be billed at the straight time hourly rate Mondays through Fridays and at the weekend rate for Saturdays, Sundays, and Holidays.

### General Provisions

#### Standby Time

Any waiting time when the Representative is available to work, up to a maximum of eight (8) hours on any one working day, shall be regarded as time actually worked, even though the services are not actually utilized. The rate may not be prorated for partial days.

#### Delays

Canyon Industries, Inc. shall not be liable for delay in performance when such delay is occasioned by causes beyond its reasonable control, including but not limited to acts of God, acts of the customer, material shortages, transportation difficulties, flood, strikes, epidemics, war (declared or undeclared), riot, etc.

#### Emergency Work

The minimum time off for a representative during any 24 hour period must be eight (8) consecutive hours.

#### Terms of Payment

A deposit equal to 50% of anticipated charges due upon request for a field representative. Payment for services and material will be due upon presentation of invoices.

Rates subject to change without notice.

## ANEXO E: OFERTA CHENGU FOSTER



成都市福斯特科技有限公司  
Chengdu Forster Technology Co.,Ltd





SCAN QR CODE  
LEARN MORE

成都市福斯特科技有限公司  
CHENGDU FORSTER TECHNOLOGY CO.,LTD  
Address:Building No4, Zhongjie Xicheng, Third East  
Road of Guanghua, Qingyang District, Chengdu, Sichuan Province, China.  
Tel: +86-28-87362258  
Fax: +86-28-87362290  
Email: nancy@forster-china.com  
Web: www.fstgenerator.com

### CORPORATE BROCHURE

INTEGRITY, PRAGMATISM, INNOVATION

CRAFTSMANSHIP SPIRIT  
PROVIDE THE BEST SOLUTION FOR YOUR POWER STATION

## ENGINEERING CASE

工程案例



## ENGINEERING CASE

工程案例

Project/Company	Capacity	Type	Turbine Model	Generator Model
Luzhou Hejiang Yikou Hydropower Station	2*800KW	Francis	HLA551-WJ.84	SFW-K800-12/1430
Meiguluozi secondary station	2*800KW	Francis	HL160/A253-WJ.60	SFW-W800-8/990
Luzhou Gulin Guanmenshi Power Station	4*800KW	Francis	HLA575C-WJ.58	SFWE800-6/990
Gulin County Guanmenshi Hydropower Development Co., Ltd.	4*800KW	Francis	HLA575C-WJ.58	SFWE800-6/400
Tibet Mangkang Xiqube First Stage Power Station	1*800KW	Francis	HLA616-WJ.54	SFWE-K800-6/990
Luzhou Gulin Guanmenshi Power Station	1*630KW	Francis	HLA550-WJ.58	SFWE-W630-6/990
Gulin County Guanmenshi Hydropower Development Co., Ltd.	1*630KW	Francis	HLA550-WJ.58	SFWE630-6/400
Caogu Chaoyang Power Station in Mianing, Liangshan Prefecture	3*630KW	Francis	HL220-WJ.50	SFW-W630-6/990
Shengyuan Electric Power Company of Huidong County, Liangshan Prefecture	2*630KW	Francis	HL90/D54-WJ.60	SFW630-6/990
Ganluo Xiaohu Auxiliary Power Station in Liangshan Prefecture	2*630KW	Francis	HLA551-WJ.75	SFW-630-10/1180
Ganluo Qiming Power Station in Liangshan Prefecture	2*630KW	Francis	HLA551-WJ.71	SFW-W630-10/990
Ganluojiji Power Station in Liangshan Prefecture	2*630KW	Francis	HL260C-WJ.96	SFWE-W600-16/1430
Luzhou Hejiang Yikou Hydropower Station	1*630KW	Francis	HLA551-WJ.71	SFW-W630-10/990
Liangjiaya Power Station in Xixiang, Hanzhong, Shaanxi	2*630KW	Francis	HLA551-WJ.62	SFWE-K630-8/1180
Tibet Mangkang Xiqube First Stage Power Station	2*630KW	Francis	HLA384-WJ.52	SFWE-K630-6/990
Dazhou Wanyuan County Huajiang Hydropower Development Company	2*630KW	Francis	HLA194-WJ.60	SFW-W630-6/990
Shengyuan Electric Power Company of Huidong County, Liangshan Prefecture	2*500KW	Francis	HL90/D54-WJ.56	SFW500-6/850
Fengjieshan Power Station in Ba County, Hanzhong Town, Shaanxi Province	1*500KW	Francis	HLA696-WJ.55	SFWE-W800-6/1180

Project/Company	Capacity	Type	Turbine Model	Generator Model
Africa Burundi Power Station GAYONGOZ	2*400KW	Francis	HLA551C-WJ.78	SFW-K400-14/1180
Jiangyuan Baiyangdong Power Station	2*320KW	Francis	HL90/D54-WJ.55	SFW320-6/740
China Fourth Metallurgical Construction Linzhi Project Department	2*320KW	Francis	HL220-WJ.50	SFWE-W320-8/850
Mianyang Chuanjiang Electric Power Engineering Co., Ltd.	2*320KW	Francis	HLA855-WJ.46	SFWE-W320-6/740
Mujiaoping Power Station, Longshan Town, Gulin County	1*250KW	Francis	HLA551C-WJ.51	SFW-250-8/740
Chongqing Taogui Hydropower Development Co., Ltd.	2*200KW	Francis	HLA551C-WJ.48	SFWE-W200-8/740
Water Resources Bureau of Linzhi County, Tibet	2*200KW	Francis	HL260-WJ.50	SFW-200-8/740
Mayu Power Station in Guide County, Qinghai	1*160KW	Francis	HLA551C-WJ.46	SFWE160-8/650
Emeishan Li Paper Factory Power Station (Enhancing efficiency and capacity expansion)	2*150KW	Francis	HLA551C-WJ.46	SFWE150-8/650
Mujiaoping Power Station, Longshan Town, Gulin County	1*150KW	Francis	HLA351-WJ.60	SFW-500-6/850
People's Government of Shili Township, Bangtang County	1*100KW	Francis	HL110-WJ.42	SFWE-100-6/560
Damang River Hydropower Station in Zhouzhi County, Xi'an City	1*100KW	Francis	HLA551C-WJ.50	SFWE-W100-10/650
Yinglongyuan Electric Power Co., Ltd.		Francis	HL551C-WJ.77	Runner transformation
Hanyuan Mingxing Co., Ltd.		Francis	HLD47-WJ.60	Runner transformation
Caogu Power Station in Mianing, Liangshan Prefecture	2*1600KW	Turgo	X.JA.W.80	SFW-K1600-18/1430
Ganzi Prefecture Luhuo Electric Power Company	2*1250KW	Kaplan	ZDJP502-LH.180	Runner repair
Yunnan Heibeng Hydropower Development Co., Ltd.	2*800KW	Turgo	X.JA.W.601*14	SFW-W800-8/990
Guizhou Xishui Yaguang Co., Ltd.	1*700KW	Turgo	X.JA.W.531*13	SFW700-6/990
Meiguluozi Primary Station	2*630KW	Turgo	X.JA.W.56	SFW-W630-8/990
Ganluopolu, Liangshan Prefecture Level 2	2*630KW	Turgo	X.JA.W.501*11.5	SFW630-9/990



## COMPANY CULTURE

公司文化



## BUSINESS COVERAGE

业务覆盖



Our equipment is sold to more than 100 countries and regions around the world. Its main regions are in the European and South American markets. And set up offices in Europe, as well as cooperative agents in other regions.

## COMPANY CERTIFICATE 公司证书

Forster has been awarded as China's Excellent Integrity Enterprise Unit for many times, and has passed ISO9001 quality certification for many times; SGS factory certification; TUV factory certification; EU CE certification; and obtained multiple utility model patent certificates, etc.



With the progress of the times, human needs continue to change. We have been upholding scientific innovation and have been at the forefront of the development of equipment automation in hydropower stations, and have obtained a number of invention patents.



## ENTERPRISE TEAM 企业团队



Forster has won the title of honest enterprise for many times, and has many certificates issued by domestic and international authorities. Moreover, we not only have an outstanding technical research and development team, but also have sales personnel and equipment production technical personnel with rich experience in hydropower projects.

At present, our company has a total of 138 employees, including 5 national senior engineers, 23 technical r&d engineers; 48 workshop technicians; 4 people in the Finance department; 5 people in human Resources Department; 2 legal staff; 8 domestic sales staff; 6 foreign sales staff; 15 people in other departments. 18 employees in Chengdu Commercial Office; 4 people in European business office.



## DEVELOPMENT HISTORY 发展历程



## COMPANY PROFILE

### 企业简介

Chengdu Forster Technology is focused on design and manufacturing hydro turbines. The company was founded in 1956. Forster is the first Chinese state-owned enterprise and spares no effort to expand international market in 2013. At present, we have obtained orders in many water-rich areas such as Europe, Asia, South America, North America, etc., and as partners, we are qualified as long-term suppliers in many regions.

The capacity of hydro turbines is up to 5KW-300MW for a unit. The main hydro turbines are Turgo turbine, pelton turbines, francis turbines, kaplan turbines, bulb tubular turbines and other types of turbines. Forster also supplies governors, valves, transformers, monitoring systems, microcomputer integrated control panels and other equipment for hydroelectric power plants.



## COMPANY PROFILE

### 企业简介

Forster is strict to IEC international standard and national standard. It has CE, ISO, SGS, TÜV certificate, and has a number of high-tech invention patent certificates, etc.

After obtaining the certification of ISO9001 quality management system, we still adhere to the rigorous work style formed in the turbine industry for many years, constantly and independently improve and perfect the management system of the enterprise, cherish and value the rich experience accumulated in the turbine production for decades, and constantly increase the technical force and Equipment input, focusing on the production, manufacture and installation of hydro-generator set equipment, auxiliary equipment of power station, production and manufacture of over-current components, repair and capacity upgrading of various power stations.



## COMPANY PROFILE

### 企业简介

Forster always provides technical advice, services and the best technical solutions to customers based on their parameters. At the same time, it keeps offering after sale service for our product.

We always adhere to the principle of honesty and pragmatism, quality first, will be broad-minded, the attitude of life into our work, and strive to create a win-win situation for customers, enterprises and society. In the fierce market competition, we have always adhered to the details of success or failure, focusing on the achievement of excellence in the spirit of enterprise. In the friendly cooperation with customers at home and abroad, we have been pursuing the business philosophy of creating maximum value for customers.

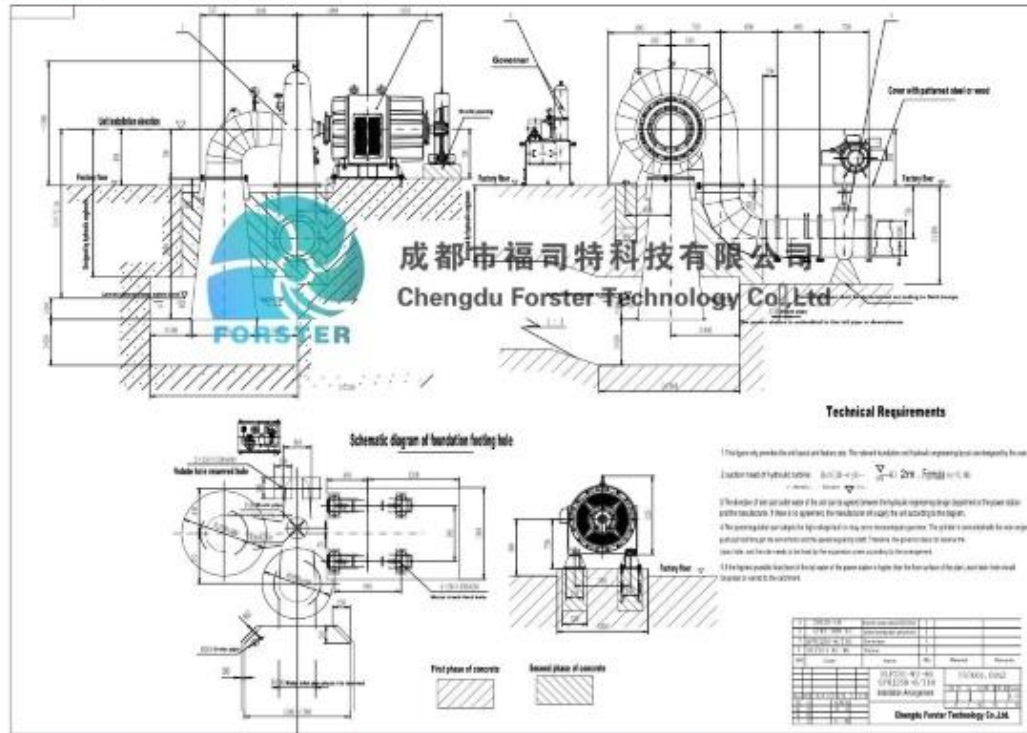
## ENGINEERING CASE

### 工程案例





**Design reference drawing**



The above pictures are for reference only, please refer to the actual shipment after the engineer's design.

**Packaging**



**Inlet Valve (Gate Valve)**



**Expected Effect Of Power Station**



**Control Panel**



**Governor**



**Stainless Steel Runner**



**Draft Tube And Elbow**



**Generator Unit**



**Brushless Excitation Generator**

**Exciter**



**Product Picture:**

**Turbine**



<b>Product Price:</b>						
No.	Name of Commodity	Specification	Unit price (USD/PC)	Qty. (pcs)	Total price (USD/PC)	Note
01	Turbine	HLA920-WJ-45	35480	1	35480	1.The Turbine and its accessories adopt CNC machining blades, dynamic balance check wheels, constant temperature annealing process,All stainless steel runners, nozzle ring stainless steel material, nitriding treatment.
02	Generator	SFWE-W150-6/650	21870	1	21870	2. Brushless excitation generator, power factor-cosφ=0.8
03	Control System	TYFKC-150	5650	1	5650	3.Automated microcomputer control panel.
04	Governor	SDT-150	2420	1	2420	4. Manual and electric dual-purpose Governor, adjustable water flow and power control
05	Inlet Valve	Z941H-6 DN400	6050	1	6050	5.Full size Gate valve, electric bypass, PLC interface
06	Packaging Costs	Wooden packing	2310	1	2310	6. Packing in wooden cases is moistureproof.
07	Transportation costs	FOB Port of Shanghai,China	1620	1	1620	7. The price includes all costs for the factory to reach the port of Shanghai, China. Incoterms: FOB Shanghai Port, China.
<b>Total Amount</b>			<b>75400</b>	<b>1</b>	<b>75400</b>	
<b>This offer included the Turbine +Generator+Control Panel+Governor+Inlet Valve+Packaging costs+Shipping costs.</b>						

**Remarks:**

- 1.Delivery Time:6 Months after confirmation of remittance.
- 2.The price is **FOB** .(FOB Port of Shanghai,China.)
- 3.Payment: T/T 50% payment to start production,the balance copy of P/L(Packing of list).
- 4.Warranty period for main parts 1 year (except for vulnerable parts,switches,indicators etc..)
5. This quotation is valid before Mar 5<sup>th</sup>, 2022.

**Overseas technical support:**

- On-site installation guidance: The owner shall carry out civil construction according to the installation layout drawings provided by our engineering design department. After the installation conditions are met, our company will provide on-site guidance installation services.
  - On-site commissioning: The electrical engineer completes the trial operation and software settings of the power plant equipment according to the actual site conditions and customer requirements.
  - On-site training service: conduct on-site operation training and maintenance for the owner' s power plant staff
- ( The above services are paid services and need to be charged according to regional conditions.)
- Lifetime after-sales service.

Customer Information	
Customer name:Mr.Byron Padilla	Project name:
Company Name:	
Company Address:Ecuador	Email:baimed@live.com
Tel:+593 97 922 8146	Fax:

## QUOTATION

**Product name: 150KW Francis Turbine Generator Unit**

### Technical Parameters

Net Head	$H_r$	61	m
Design Flow	$Q_r$	0.305	$m^3/s$
Capacity Power	<b>P</b>	<b>150</b>	<b>kw</b>
<b>Turbine</b>		<b>Generator</b>	
<b>Model</b>	<b>HLA920-WJ-45</b>	<b>Model</b>	<b>SFWE-W150-6/650</b>
Unit Flow $Q_{11}$	0.281 $m^3/s$	Rated Efficiency of Generator $\eta_f$	93.5%
Unit Rotating Speed $n_{11}$	63.64 r/min	Frequency of the generator $f$	60Hz
Max Hydraulic Thrust $P_t$	1.15t	Rated voltage of generator $V$	480V
Rated rotating speed $r$	1000r/min	Rated current of the generator $I$	225.53A
Model Efficiency of turbine $\eta_m$	93.5%	Excitation	Brushless Excitation
Max Runway speed $n_{f_{max}}$	1717r/min	Connection way	Direct connect
Rated Output $N_t$	162kW	Max runaway speed $n_{f_{max}}'$	1717r/min
Rated Discharge $Q_r$	0.305 $m^3/s$	Rated rotating speed $n_r$	1000r/min
Turbine real machine efficiency $\eta_r$	87%	Unit support form	Horizontal 2 point



**Certificates**

**FORSTER HYDRO** equipment production refers to the IEC international standards and strictly implements the Chinese national standards (GB/T19001-2016), and has passed the international ISO9001-2015 quality management system certification.

And has CE, TUV, SGS, and other certificates. In addition, it has been awarded the highest grade (AAA) title of China Electrical Equipment Industry Association many times and has a number of high-tech invention patents. Has always been a pioneer and leader in China's hydropower industry.



We always adhere to the principle of honesty and pragmatism, quality first, integrate open-mindedness and life attitude into our work, and strive to create a win-win situation for customers, enterprises and society. In the fierce market competition, we always adhere to the success or failure of details, focus, and achieve excellence in the enterprise spirit.

**Technical Description**

According to the requirements of China's GB standard, the user should ensure that the pressure pipeline can withstand a general working pressure of 20 bar over its entire length. The pipeline should be installed straight, without sharp peaks and big bends, and no force, pressure or vibration should be applied.

A note about the environmental conditions of the power station: the highest altitude is 3000 meters, the temperature ranges from -15°C to +40°C, and the maximum humidity is 85% at 40°C.

All electrical equipment is recommended to be installed and used in a moisture-proof, moisture-proof, and waterproof space, and the equipment should be maintained regularly. All electrical equipment is recommended to be installed and used in a moisture-proof, moisture-proof, and waterproof space, and the equipment should be maintained regularly.





# CHENGDU FORSTER TECHNOLOGY CO.,LTD

<b>Supplier:</b> Chengdu Forster Technology Co., Ltd.		<b>Date:</b> Feb.4 <sup>th</sup> , 2022	
<b>Add:</b> Building No.4.Zhongtie Xicheng Third East Road of Guanghua, Qingyang District, Chengdu city,Sichuan,CHINA			
<b>Contact:</b>	George Huang	<b>Ph/Wechat/What's app:</b> +86 134 0863 0944	<b>Tel:</b> +86-28-87362258
<b>E-mail:</b>	sales@forster-china.com	<b>Web:</b> www.fstgenerator.com	<b>Fax:</b> +86-28-87362258

## Company Information



Chengdu **FORSTER HYDRO** is focused on design and manufacturing hydro turbines. The company was founded in 1956. Forster is the first Chinese state-owned enterprise and spares no effort to expand international market in 2013.

Foster strictly abides by IEC international standards and national standards. And has CE, ISO,SGS, TUV certificates. In the management system, we still adhere to the rigorous work style formed in the turbine industry for many years, and continuously improve and improve the management system of the enterprise. There are 12 technical research and development personnel, 45 production personnel and 13 sales teams. We have been increasing our technical strength and equipment investment, focusing on the production, manufacture and installation of hydro-generator equipment, power station auxiliary equipment and various components.

We always provide customers with technical advice, services and the best technical solutions based on customer parameters. At the same time, we provide continuous after-sales service for our products. Adhere to honesty and pragmatism, quality first, broad mind, and invest in our work with a life attitude, and strive to create a win-win situation for customers, enterprises and society.



## FUTURE PLAN

### 未来规划

#### DEVELOPMENT STRATEGY

Company development strategy The company always adheres to the corporate core values of "humanities, technology, learning", always adheres to market-oriented, technology-based support, honesty and trustworthiness as the fundamental principle, and continuously improves technical strength to provide customers with the most optimized power solution Program, committed to becoming a domestic first-class and internationally renowned supplier of hydropower equipment.

#### DEVELOPMENT PLAN

In the next three years, the company will always take globalization strategy as the core, support brand strategy, refined marketing strategy, technological innovation and talent strategy, and information strategy, continue to increase investment in scientific research, and increase the introduction and training of various talents In addition to product research and development, it is expected that the company will have more than 10 invention patents in the next three years, and more than 20 invention patents are under application. R&D investment has doubled compared with the current one, and it will reach 5% of sales revenue.

WORK TOGETHER  
TO BUILD A DREAM

PROVIDE THE BEST SOLUTION  
FOR YOUR POWER STATION

## INTERNATIONAL EXHIBITION

### 国际展会

Our company is active all year round in major hydropower, energy and automation machinery exhibitions around the world.

The purpose of our participation in the exhibition is to make it easier for customers in this area to communicate with us on-site; to display our equipment more comprehensively to users; to show our design and research and development capabilities.

HANNOVER MESSE  
ASEAN EXPO  
MOSCOW MACHINERY EXHIBITION  
UZBEK ENERGY EXHIBITION

## CUSTOMER VISIT

客户拜访



## PRODUCT INTRODUCTION

产品介绍

### OTHER SUPPORTING EQUIPMENT



Other supporting equipment includes control panel, governor, valve, transformer, High-voltage control cabinet, crane, etc.etc.



Among them, high-voltage control cabinets, transformers, cranes, etc., we recommend that customers purchase them locally, because the electrical part is designed with a lot of complex debugging work, and professional technicians on site are required to conduct operation tests.



Tubular hydropower stations generally have a shorter construction period, less investment, quicker results, and less inundation and resettlement than vertical axial flow hydropower stations. The power station is close to towns, which helps to give full play to the enthusiasm of the region to build power stations.

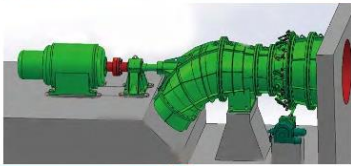
## PRODUCT INTRODUCTION

### 产品介绍



#### TUBULAR TURBINE

Tubular turbine is a horizontal axis turbine, that is, the water flow basically moves along the horizontal axis in the flow channel. It is mainly suitable for water heads of 1-25m, and is a special model for low-head and large-flow hydropower stations. Because the water flow basically moves along the axial direction in the flow channel without turning, the water passing capacity and hydraulic efficiency of the unit can be improved.



The axial penetration shape from the water inlet to the outlet direction is simple, the hydraulic loss of the flow passage is reduced, and the construction is convenient. In addition, it is more efficient. Its draft tube recovery function can account for more than 40% of the total head.



Tubular hydropower stations generally have a shorter construction period, less investment, quicker results, and less inundation and resettlement than vertical axial flow hydropower stations. The power station is close to towns, which helps to give full play to the enthusiasm of the region to build power stations.

## PRODUCT INTRODUCTION

### 产品介绍



#### KAPLAN TURBINE

Kaplan turbine refers to a counter-attack turbine that enters the runner from the axial direction and flows out from the axial direction along its blades, and converts the energy of the water flow into mechanical energy. According to whether the runner blades can rotate, it is divided into axial-flow paddle type. And axial flow fixed paddle type.

Kaplan Turbine is suitable for developing water resources with low head (2-30m) and large flow rate; It is suitable for the change of large and small head loads in the power plant



For power plants with low head, large head and power variations, they can operate stably under various working conditions;  
The machine is a vertical shaft device, with simple structure, easy maintenance, low equipment price, easy operation and other advantages

## PRODUCT INTRODUCTION

### 产品介绍

#### TURGO TURBINE



The oblique impact turbine is mainly composed of nozzles and runners. The runner is composed of an outer rim, an inner hub and a number of single bowl-shaped buckets fixed by it. The nozzle jet obliquely impacts the blades on the front of the runner at an angle of 22.5° and then flows out from the back. The structure is simple, the cost is low, but the efficiency is low.

1. Horizontal unit has the advantages of a simple structure, easy maintenance, reduce plant height, reduce the excavation depth.

2. Vertical unit has a small plant size plane, one can install multiple nozzles on the wheel, high specific speed, the same capacity unit size is relatively small and weigh lightly.



## PRODUCT INTRODUCTION

### 产品介绍



#### PELTON TURBINE

Pelton Turbine is a hydraulic prime mover that uses a special water guiding mechanism to draw a free jet with kinetic energy, rush to the runner bucket, make the runner rotate and perform work, thereby completing the conversion of water energy into mechanical energy. The impulse turbine is suitable for high-head, low-flow power stations. It converts the water from the pressure pipeline into a high-speed jet after passing through the nozzle, and tangentially impacts the runner, pushing the runner to rotate, and driving the generator rotor to rotate and generate electricity.

Pelton Turbine is used in hydropower plants with high water head, generally ranging from 60 m to 600 m, the maximum water head can reach 1200 m. It can be divided into single nozzle type and multiple nozzle type.

Pelton turbine With the power plant investment is small, compact units structure characteristics.



## PRODUCT INTRODUCTION

### 产品介绍

#### FRANCIS TURBINE

1. Francis turbine has the advantages of compact structure, high efficiency and can adapt to a wide range of water head of turbine type. It is one of the widely used anworld;

2. When the water flow through the turbine wheel, it enters to radial, axial flow, so it is also called the radial axial flow turbine;

3. Francis turbine is also called the Francis turbine. The water flow from the surrounding radial inflow runner, then approximate axial flow runner, runner by the crown, under the ring and the blade;



Runner

Generator



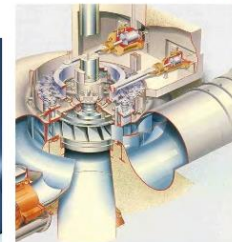
4. It is applicable to the head from a range of 20 meters of up to 700 meters, has the advantages of simple structure, stable operation, and high efficiency, but it is generally used in the head in the range(50 to 400 m).

5. The francis turbine has more customers to choose rom because of its high efficiency and low loss of generators and turbines.



## DESIGN AND R&D

### 设计与研发



## DESIGN AND R&D

设计与研发



## MACHINERY EQUIPMENT

机械设备





**Our Main Products:**



Chengdu Forster Technology Co., Ltd.




Offerer: Gerude Huang

**This quotation is only used for equipment purchase quotation, please do not use it for other purposes, our company has the final right to interpret this quotation.**

ANEXO F: OFERTA FORWARD HYDRO



160KW Francis Turbina a la red

NO.	Item name	Specifications	QTY(set)	Unit price
160KW	<p>1. Turbina Francis</p> <p>2. Generador</p> <p>3. Válvula de compuerta eléctrica</p>  <p>4. Gobernador de velocidad</p>  <p>5. El control (Sistema del control)</p> 	<p>1. Model: HLA981-WJ-50</p> <p>Salto de agua: 61m</p> <p>El caudal: 305l/s</p> <p>El diámetro de tubería: 450mm</p> <p>Rated speed: 900r/min</p> <p>Rendimiento: 92.5%</p> <p>2. Model: SFW160-8/650W</p> <p>Rated voltage: 480V</p> <p>No. of phase: Trifasico</p> <p>Frecuencia: 90%</p> <p>Rated speed: 900r/min</p> <p>3. Válvula de compuerta eléctrica: Z945T-10 DN 450</p> <p>4. Gobernador de velocidad: SDT-300</p> <p>5. El control: a la red</p>	1	58398



Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
 E-mail: sales@smallhydroturbine.com  
 Web: www.smallhydroturbine.com  
 Phone: +0086 139 2240 9874





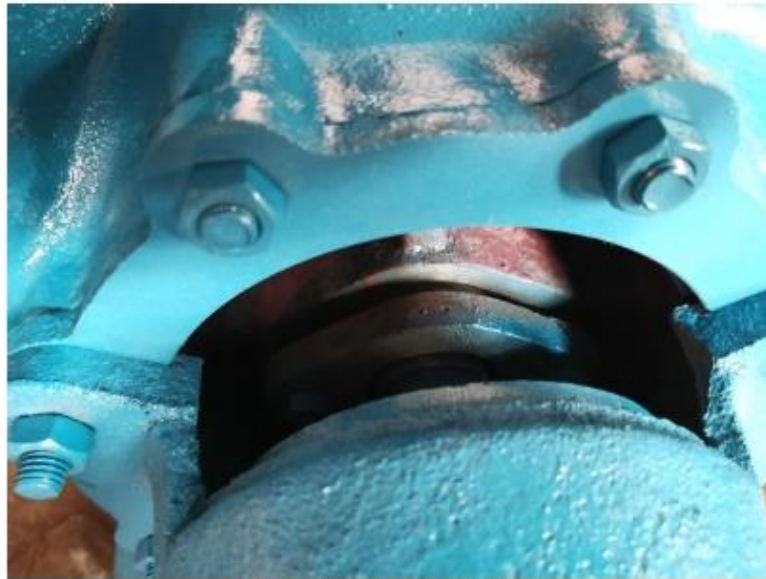
Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874





Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874





Rigid testing before delivery



Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874





## FORWARD HYDRO POWER EQUIPMENT CO LTD

Excitation generator



Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874





## FORWARD HYDRO POWER EQUIPMENT CO LTD

Generator and turbine connected by elastic coupling



Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874





Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874

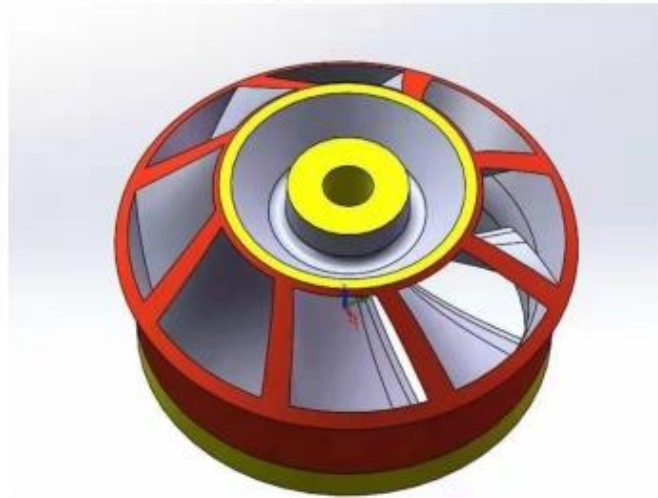






## FORWARD HYDRO POWER EQUIPMENT CO LTD

Runner optimized by CFD and FEA calculations

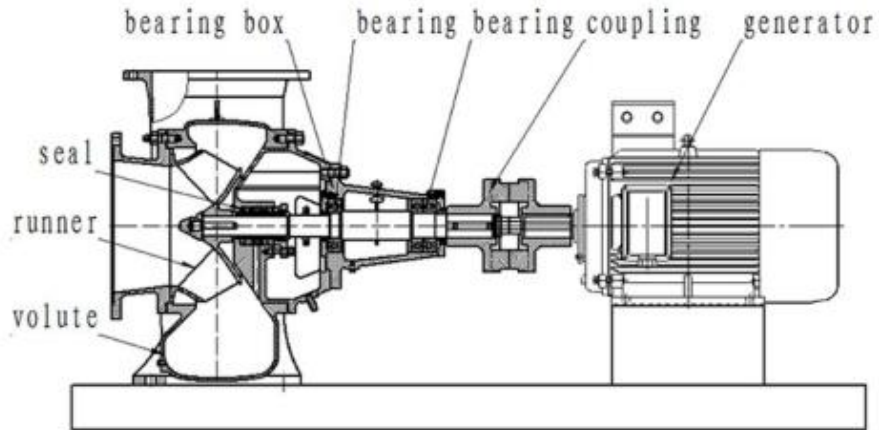


Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874

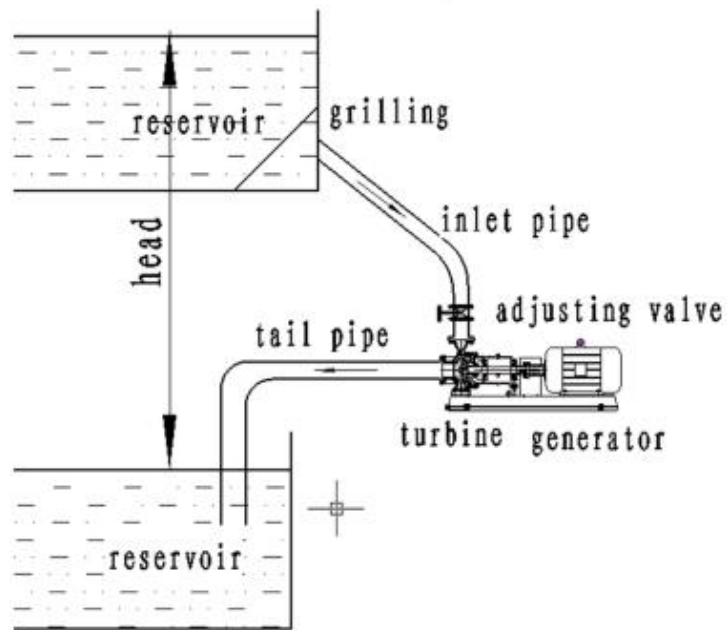




Structure drawing



Installation drawing

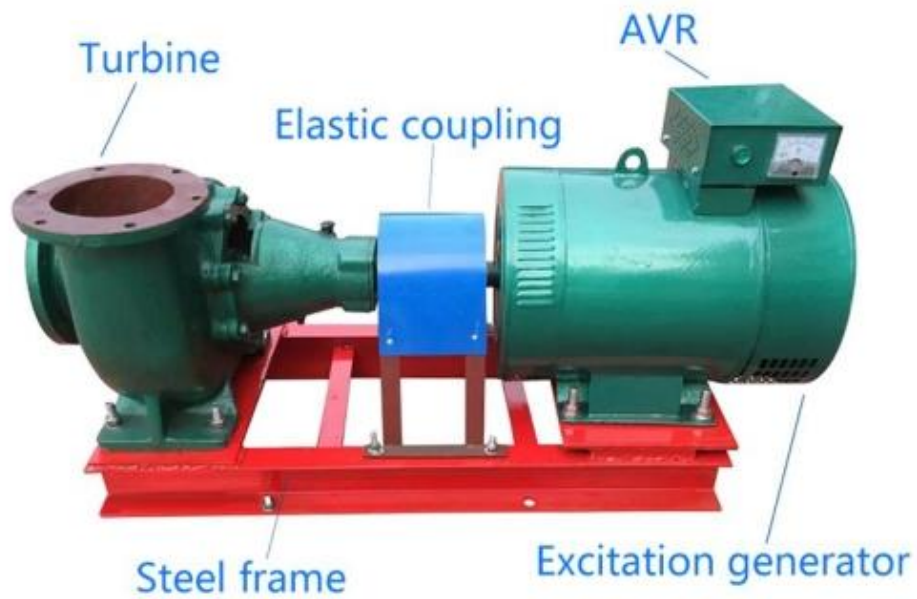


Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874



Below are photos of horizontal micro Francis turbine ranging from 5kW up to 50KW

Complete set after assembling (name of main components):



Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874





## FORWARD HYDRO POWER EQUIPMENT CO LTD

Wooden case packaging



Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874





## FORWARD HYDRO POWER EQUIPMENT CO LTD

Rigid testing before delivery



Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874





## FORWARD HYDRO POWER EQUIPMENT CO LTD

Excitation generator



Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.

E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)

Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)

Phone: +0086 139 2240 9874





## FORWARD HYDRO POWER EQUIPMENT CO LTD

Generator and turbine connected by elastic coupling



Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874





Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874







Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874





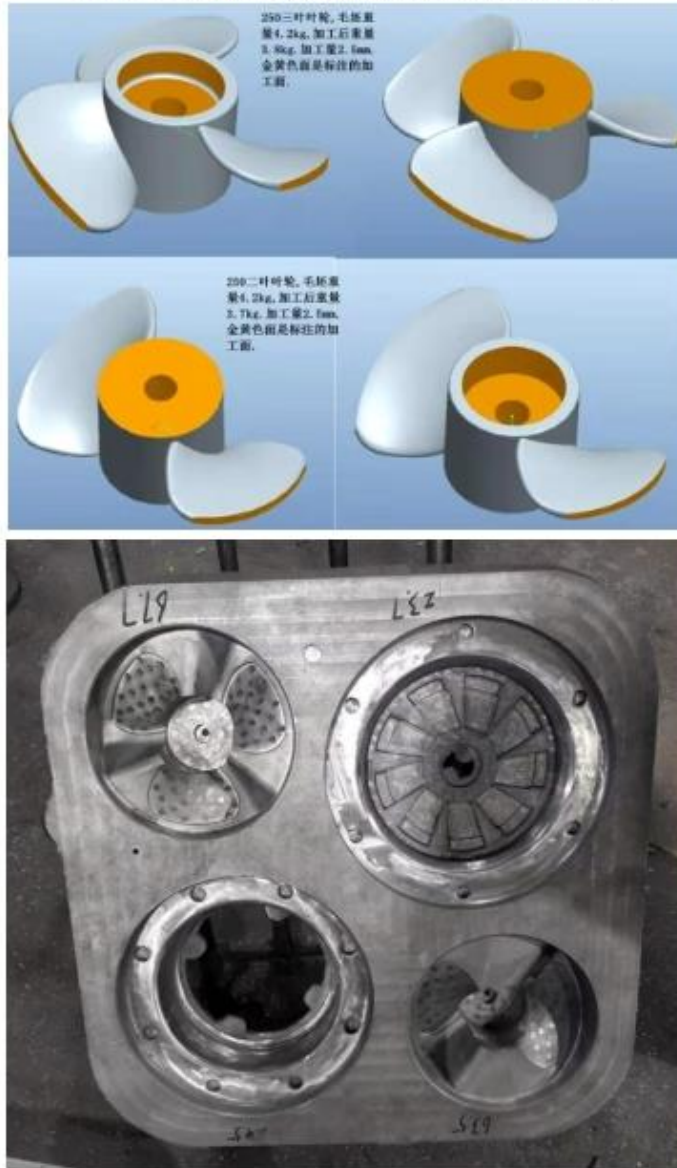
Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874





## FORWARD HYDRO POWER EQUIPMENT CO LTD

Runner optimized by CFD and FEA calculations

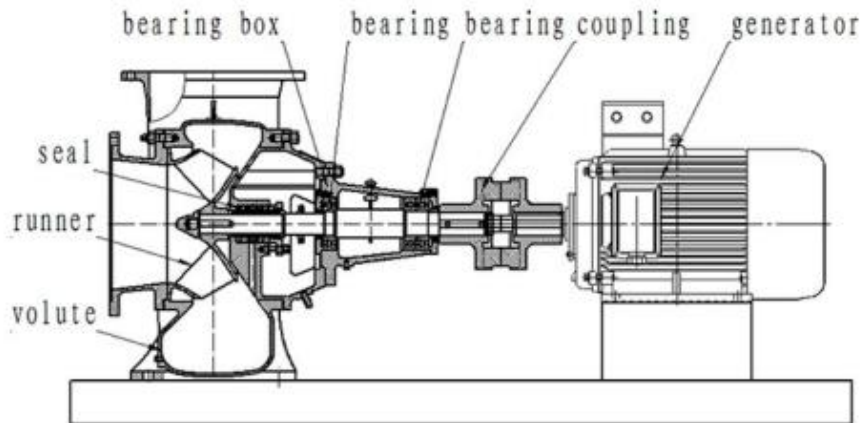


Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874

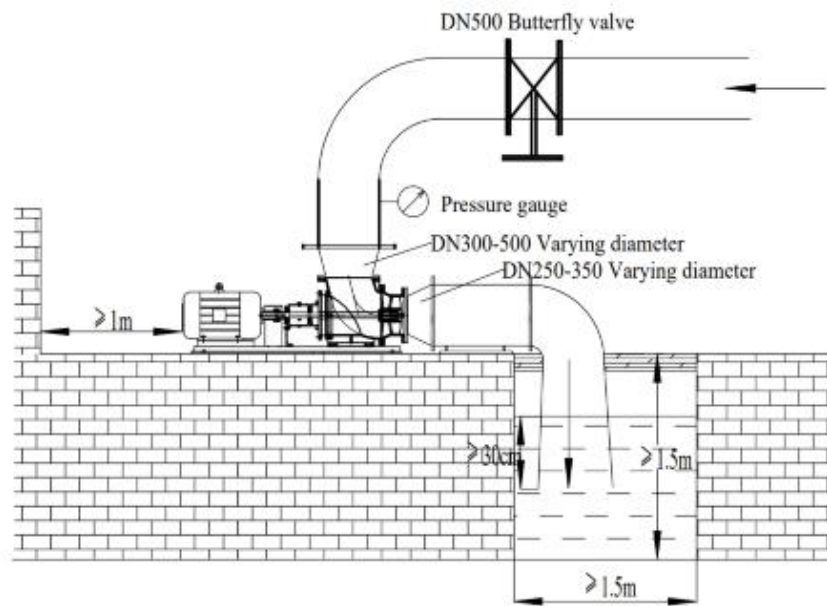




Structure drawing



Installation drawing



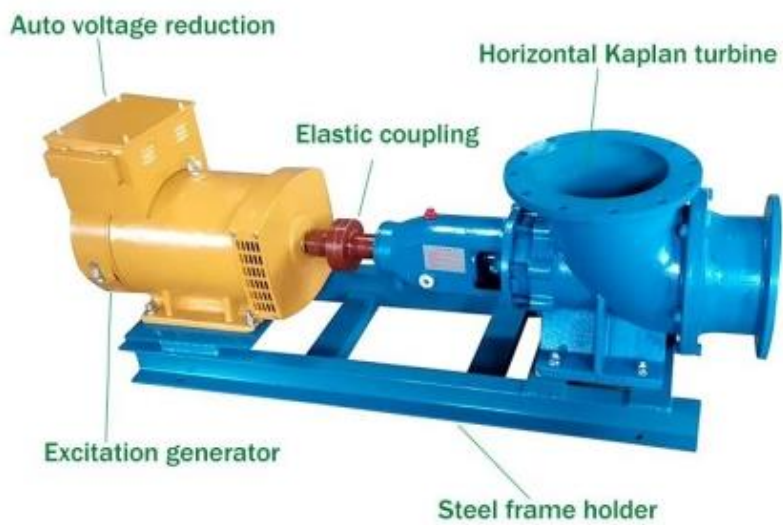
Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874





Below are photos of horizontal micro Tubular turbine ranging from 3kW up to 50KW

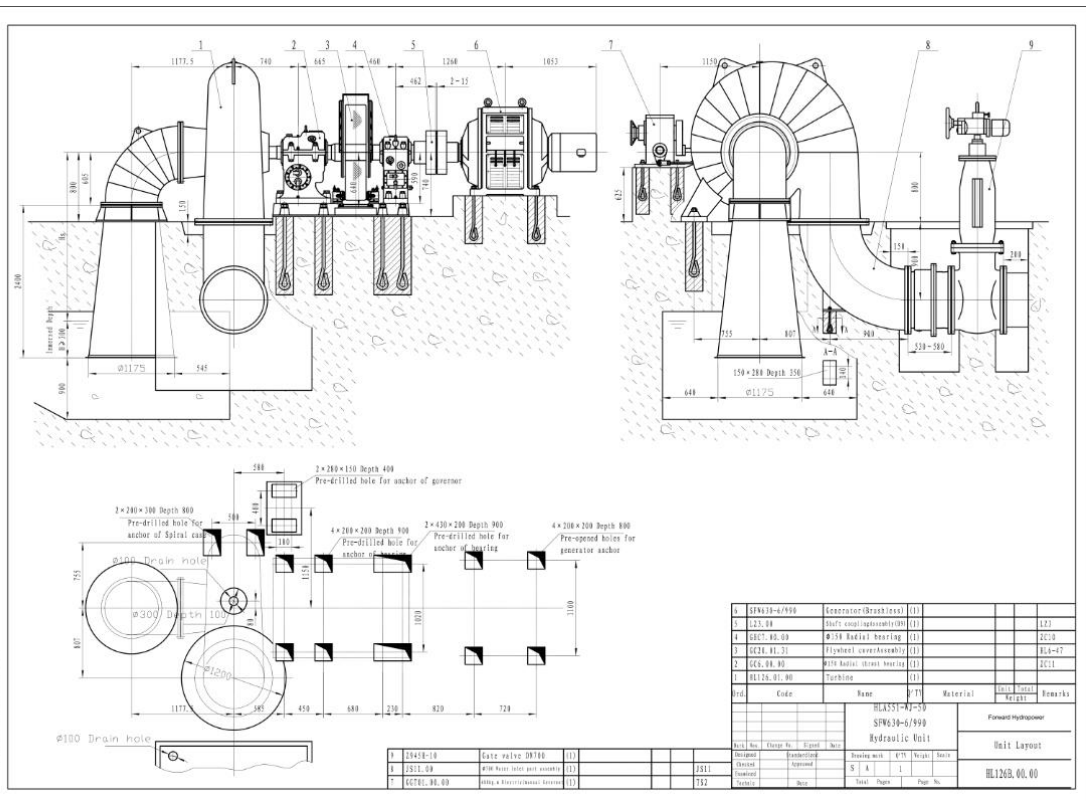
Complete set after assembling (name of main components):



Facility located at Hi-tech Industry Park, Ping Xiang, Jiangxi, China.  
E-mail: [sales@smallhydroturbine.com](mailto:sales@smallhydroturbine.com)  
Web: [www.smallhydroturbine.com](http://www.smallhydroturbine.com)  
Phone: +0086 139 2240 9874



HLASS1-WJ-50 HL126B-1



Ord	Code	Name	QTY	Material	Unit	Remarks
1	SFA03-6/990	Generator Brushless	(1)			
1	L23.04	Shaft coupling (SFA03)	(1)			123
4	6067.05.00	W500 Radial Bearing	(1)			2230
5	0211.01.01	Flange (cover/Anchor)	(1)			013-02
2	0202.04.00	W500 Radial Thrust bearing	(1)			2211
1	HL126.01.00	Turbine	(1)			
HLASS1-WJ-50						
SF630-6/990						
Hydraulic Unit						
						Formwork Hydropower
						Unit Layout
						HL126B.00.00

Ord	Code	Name	QTY	Material	Unit	Remarks
1	12418-10	Gate valve DN700	(1)			
2	2211.01	W500 Motor (steel part assembly)	(1)			2211
7	606701.00.00	W500 Motor (steel part assembly)	(1)			752